

Laporan Akhir Projek Penyelidikan Fundamental

**STUDY ON THE BEHAVIOUR OF REPAIRED REINFORCED CONCRETE
(RC) CONCRETE ELEMENTS.**

**KAJIAN MENGENAI KELAKUNAN KONKRETE BERTETULANG YANG
TELAH DIPERBAIKI.**

VOT 71696

Disember 2007

**STUDY ON THE BEHAVIOUR OF REPAIRED REINFORCED CONCRETE
(RC) CONCRETE ELEMENTS.**

**KAJIAN MENGENAI KELAKUNAN KONKRETE BERTETULANG YANG
TELAH DIPERBAIKI.**

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada En Abdullah Zawawi Awang yang telah memberikan idea dan sumbangan bernas selaku rakan penyelidik dalam projek ini.

Penghargaan yang tak terhingga juga ditujukan kepada pelajar-pelajar tahun akhir, Fakulti Kejuruteraan Awam, UTM, yang terlibat secara terus kerana tanpa tenaga dan usaha mereka projek ini tak akan dapat dijalankan. Seterusnya juga terima kasih diucapkan kepada staf makmal Jabatan Struktur dan Bahan, FKA, UTM, yang telah banyak memabantu dalam perjalanan projek ini.

Akhirnya terima kasih juga kepada pihak RMC terhadap apa-apa saja bantuan yang diberikan.

ABSTRACT

Carbon FRP has recently being used as strengthening elements of reinforced concrete elements such as beams. Two sets of experiments was carried out to study the behaviour beams strengthened with FRP fabric wrap and beams strengthened with FRP plates.

The first set consists of 3 beams; a control beam, a beam reinforced with FRP plates, and a pre-cracked beam reinforced with FRP plates. Observations were made on the ultimate load capacity, load-deflection behaviour, crack pattern and propagation of tested beams. Ultimate load capacity of strengthened beams increased by more than 20% when compared to control beam. Strengthened beams also exhibited improved load-deflection behaviour and crack pattern and propagation behaviour. The behaviour of the pre-cracked beam was almost the same as the uncracked beam.

The second set of 3 beams was designed with no shear reinforcement so that the beams would fail in shear. Two of the beams were wrapped with FRP fabric wrap while one acts as control. One of the wrapped beams was wrapped with one layer 90° to the horizontal while the other was wrapped with two layers; one at 45° and the other at -45° to the horizontal. Load carrying capacity and load-deflection behaviour of all beams tested were observed. From the results of the experiments it can be seen that the load carrying capacity of the strengthened beams wrapped at 90° to the horizontal almost doubled when compared while the other wrapped beam more than double its load carrying capacity.

From the experiments, it is shown that both FRP plates and fabric wrap strengthened beams that were misdesigned or damaged which should encourage their use it the repair of structural elements amongst practitioners.

ABSTRAK

Penggunaan *Carbon FRP* telah digunakan sebagai element penguat bagi rasuk konkrit bertetulang. Dua set ujikaji telah dijalankan untuk memerhati kelakunan rasuk yang telah diperkuatkan dengan kepingan dan balutan fabrik *FRP*.

Set yang pertama terdiri dari 3 rasuk; satu rasuk kawalan, satu rasuk yang diperkuatkan dengan kepingan *FRP* manakala satu lagi di pra-retak dan kemudiannya di perkuatkan juga dengan kepingan *FRP*. Pemerhatian telah dibuat terhadap beban muktamad, kelakunan beban-pesongan dan corak dan pengembangan retakan bagi rasuk-rasuk yang diuji. Beban muktamad bagi rasuk yang diperkuatkan telah bertambah sebanyak lebih dari 20% jika dibandingkan dengan rasuk kawalan. Rasuk yang diperkuatkan juga menunjukkan kelakunan beban-pesongan dan corak and pengembangan retakan yang lebih baik. Kelakunan rasuk pra-retak adalah hampir sama dengan rasuk tanpa pra-retak.

Tiga rasuk direkabentuk tanpa tetulang ricehan bagi satu lagi set rasuk yang diuji. Dua daripada rasuk di balut dengan fabrik *FRP* manakala satu lagi adalah rasuk kawalan. Salah satu rasuk dibalut dengan satu lapisan fabrik dalam arah 90° terhadap ufuk manakala satu lagi rasuk dibalut dengan dua lapisan fabrik dalam arah 45° dan -45° terhadap ufuk. Kapasiti membawa beban dan kelakunan beban-pesongan rasuk-rasuk yang diuji telah diperhatikan. Dari keputusan ujikaji, dapat diperhatikan bahawa rasuk yang dibalut dalam arah 90° terhadap ufuk telah menunjukkan kapasiti untuk membawa beban yang hampir dua kali ganda manakala rasuk yang dibalut dalam arah 45° dan -45° telah menunjukkan kapasiti yang melebihi dua kali ganda.

Dari eksperimen yang dijalankan, telah ditunjukkan bahawa kepingan *FRP* dan balutan fabrik *FRP* telah memperkuatkan rasuk yang telah silap rekabentuk atau yang telah rosak dan akan menggalakkan penggunaan kedua-duanya dikalangan pengamal pembaikan elemen-elemen struktur.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	JUDUL	i
	PENGHARGAAN	ii
	ABSTRACT	iii
	ABSTRAK	iv
	KANDUNGAN	v-viii
	SENARAI JADUAL	ix
	SENARAI RAJAH	x-xii
	SENARAI SIMBOL	xiii
 BAB I	 Pengenalan	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Latarbelakang Masalah	3
	1.3 Objektif Kajian	5
	1.4 Skop Kajian	5
 BAB II	 KAJIAN LITERATUR	
	2.1 Pengenalan	7
	2.2 Komposit Polimer Bertetulang Gentian (FRP)	9
	2.2.1 Kandungan FRP Secara Umum	9
	2.2.1.1 Gentian	10
	2.2.1.2 Gentian Karbon	11
	2.3 Kepingan Polimer Bertetulang Gentian Karbon (CFRP)	11

2.4	Perbandingan Antara Kepingan CFRP dan Kepingan Keluli	12
2.5	Penampalan Kepingan CFRP pada Struktur Konkrit	14
2.6	Bancuhan Konkrit dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan	16
2.6.1	Bahan Bancuhan dalam Konkrit	16
2.6.2	Pengelompokan	17
2.6.3	Penggaulan	18
2.6.4	Pemindahan dan Penempatan	18
2.6.5	Pemadatan	19
2.6.6	Pengawetan	20
2.6.7	Nisbah Air-Simen	20
2.7	Kajian-kajian Lepas	21
2.7.1	Ujikaji Pertama	21
2.7.1.1	Ciri-ciri Bahan	22
2.7.1.2	Penyediaan Contoh	24
2.7.1.3	Bentuk Ujikaji	24
2.7.1.4	Keputusan	25
2.7.1.4.1	Rasuk telah Diperkuat	25
2.7.1.4.2	Rasuk Diperbaiki	27
2.7.1.4.3	Mod Kegagalan	28
2.7.2	Ujikaji Kedua	29
2.7.2.1	Program Ujikaji	29
2.7.2.2	Keputusan Ujikaji	31
2.8	Kesimpulan Kajian Ujikaji	34

BAB III METHODOLOGI

3.1.	Pendahuluan	35
3.2.	Prosedur Ujikaji	35
3.3.	Rekabentuk Komponen Rasuk	36
3.3.1.	Rekabentuk Rasuk	36
3.3.2.	Rekabentuk Bancuhan Konkrit	43
3.3.2.1.	Peringkat 1: Penentuan Nisbah Air-Simen	43
3.3.2.2.	Peringkat 2: Penentuan Jumlah Kandungan Air Bebas	45
3.3.2.3.	Peringkat 3: Pengiraan Kandungan Simen	46
3.3.2.4.	Peringkat 4: Penentuan Jumlah Kandungan Batu Baur	47
3.3.2.5.	Peringkat 5: Penetapan Kandungan Pasir dan Batu	48
3.4.	Penyediaan Bahan	50
3.4.1.	Penyediaan Acuan Rasuk	52
3.4.2.	Penyediaan Tetulang Rasuk	53
3.4.3.	Penyediaan Bancuhan Konkrit	54
3.5.	Ujian Terhadap Konkrit	56
3.5.1.	Ujian Runtuhan Kon	56
3.5.2.	Ujian Kiub Mampatan Konkrit	56
3.6.	Penampalan Kepingan CFRP	57
3.6.1.	Rasuk Pra Retak	58
3.6.2.	Penyediaan Permukaan	58
3.6.3.	Penampalan Kepingan CFRP	59
3.7.	Ujian Kekuatan Lenturan Rasuk	63

BAB IV DATA & PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	64
4.2	Ujian Runtuhan Kun	65
4.3	Ujian Mampatan Kiub	66
4.4	Ujian Lenturan Rasuk	67
4.4.1	Rasuk Pra Retak	67
4.4.2	Kekuatan Muktamad Rasuk	69
4.4.3	Pesongan Rasuk	73
4.4.4	Keretakan	75

BAB V KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Kesimpulan	79
5.2	Cadangan	80

RUJUKAN	82
----------------	----

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Perbandingan di antara kepingan CFRP dan kepingan keluli	14
2.2	Ciri-ciri rasuk dan keputusan utama	23
2.3	Ciri-ciri kepingan <i>S Sika CarboDur</i>	24
2.4	Kandungan mekanikal bahan ujikaji	31
2.5	Ringkasan kepada keputusan ujikaji	33
3.1	Anggaran (approximate) kekuatan mampatan (N/mm^2) campuran konkrit yang dibuat dari nisbah air (bebas)–simen 0.5	45
3.2	Kiraan rekabentuk bancuhan	51
3.3	Ciri-ciri <i>Sika® CarboDur® CFRP Pultruded Plate type S512</i>	60
3.4	Ciri-ciri mekanikal <i>Sikadur®-30 adhesive</i>	60
4.1	Kekuatan mampatan konkrit	66
4.2	Kekuatan muktamad rasuk	72
4.3	Bentuk kegagalan rasuk	72
4.4	Keretakan rasuk	75

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Perincian specimen rasuk konkrit bertetulang	22
2.2	Satu lapisan tunggal atau satu lapisan berkembar dengan kepingan CFRP	24
2.3	Kedudukan <i>strain gauge</i> dan beban yang dikenakan	25
2.4	Plot beban melawan pesongan di tengah rentang untuk rasuk P1, P2, P5 yang diperkuat dengan kepingan CFRP. (a) Rasuk kawalan P1. (b) Satu lapisan tunggal rasuk diperkuat P2	26
2.5	Bentuk keretakan pada rasuk kawalan P1 dan rasuk diperkuat P2	27
2.6	Plot beban melawan pesongan di tengah rentang untuk rasuk diperbaiki 2 lapisan kepingan CFRP (P7) dibandingkan dengan 2 lapisan rasuk diperkuat (P5)	28
2.7	Perincian rasuk ujikaji	30
2.8	Purata beban lawan pesongan ditengah rentang pada rasuk dalam siri A dan siri B	32
2.9	Bentuk keretakan pada rasuk dalam siri A dan siri B	32
3.1	Keseimbangan daya	38
3.2	Analisis beban, gambarajah momen lentur dan gambarajah daya riceh	39

3.3	Hubungan di antara sisihan piawai dan kekuatan ciri	44
3.4	Anggaran ketumpatan basah bagi konkrit padat	47
3.5	Kadar batu baur halus yang disyorkan mengikut peratus lulus ayak 600 μ m	48
3.6	Hubungan di anantara kekuatan mampatan dan nisbah air (bebas)/simen	50
3.7	Tetulang yang telah siap diletakkan dalam acuan kayu dan diperkukuhkan dengan acuan besi	52
3.8	Batu dibersihkan, dikumpul, dihampar 100 mm tebal dan dijemur selama 3 hari	55
3.9	Pasir yang telah diayak, dikumpul dan dijemur selama 3 hari sebelum digunakan	55
3.10	Kiub konkrit yang telah melalui ujian kekuatan mampatan konkrit	57
3.11	Rasuk BPC-2T16 (pra retak) setelah pembebanan dilepaskan sepenuhnya	58
3.12	Permukaan rasuk yang telah dikasarkan menggunakan air tool	59
3.13	Kepingan CFRP telah dilepa bahan pelekat	61
3.14	Rasuk konkrit telah dilepa bahan pelekat	61
3.15	Rola keluli digunakan untuk menekan kepingan CFRP kepada rasuk konkrit	62
3.16	<i>Sikadur-30 Normal adhesive</i> terdiri daripada komponen A (epoksi) dan komponen B (<i>hardener</i>)	62
4.1	<i>Drum mixer</i> digunakan untuk mengaul bancuhan konkrit	65
4.2	Kerangka <i>magnus</i> digunakan untuk menguji lenturan rasuk konkrit	67
4.3	Graf beban melawan pesongan bagi rasuk BPL-2T16	69
4.4	Bentuk kegagalan tampalan kepingan CFRP	71
4.5	Bentuk kegagalan rasuk BPC-2T16	73

4.6	Bentuk kegagalan rasuk BS-2T16	73
4.7	Perbandingan pesongan rasuk BPL-2T16, BPC-2T16 dan rasuk BS-2T16 di bawah pembebanan dikenakan	74
4.8	Bentuk keretakan untuk rasuk BPC-2T16 dan rasuk BS-2T16	77
4.9	Keretakan pada rasuk BPC-2T16	78
4.10	Keretakan pada rasuk BS-2T16	78

SENARAI SIMBOL

b	-	Lebar keratan rentas rasuk
h	-	Tinggi keratan rentas rasuk
L	-	Panjang berkesan rentang rasuk
f_{cu}	-	Kekuatan ciri konkrit
f_y	-	Kekuatan ciri keluli
f_{yv}	-	Kekuatan ciri keluli perangkai
ϕ_{bar}	-	Diameter tetulang utama
ϕ_{link}	-	Diameter tetulang perangkai
c	-	Tebal penutup
d	-	Ukur dalam berkesan
F_{st}	-	Daya tegangan keluli
F_{cc}	-	Daya mampatan konkrit
A_s	-	Luas tetulang tegangan
x	-	Ukur dalam ke paksi neutral
M	-	Momen ringtangan keratan
P_{max}	-	Beban muktamad
w_{max}	-	Beban muktamad per meter panjang
V_{max}	-	Daya riceh maksimum
v	-	Tegasan riceh
v_c	-	Tegasan riceh reka bentuk
s_v	-	Jarak antara perangkai
A_{sv}	-	Luas keratan perangkai
f_s	-	Tegasan tegangan keluli
f.u.t.t	-	Faktor ubahsuai tetulang tegangan

f_m	-	Kekuatan purata tumpuan konkrit
W_r	-	Kandungan air bebas untuk pasir berkenaan
W_c	-	Kandungan air bebas untuk batu berkenaan
W_s	-	Kandungan simen (kg/m^3)
W_a	-	Kandungan air bebas (kg/m^3)

BAB I

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Rasuk adalah salah satu struktur bangunan yang dibina melintang di antara dua tiang atau dua dinding. Namun kedudukan rasuk dalam binaan bangunan bergantung kepada keperluannya untuk menanggung beban yang akan dikenakan ke atasnya seperti papak dan dinding.

Rasuk adalah anggota struktur yang berfungsi untuk memindahkan beban, dan hendaklah direka bentuk untuk menanggung beban ricih dan momen. Kedudukan rasuk pada bangunan adalah rentang di antara tiang, menyokong papak dan sebahagian dinding, dan merupakan anggota yang paling mustahak dalam anggota lenturan [1].

Binaan struktur rasuk samada daripada binaan campuran konkrit pelbagai saiz, biasanya berbentuk segiempat dan diperkuat dengan tetulang keluli pelbagai saiz atau daripada binaan keluli pelbagai bentuk seperti I, H, T dan pelbagai lagi.

Konkrit merupakan salah satu bahan binaan tertua dan digunakan secara meluas dalam industri pembinaan. Ramai yang berpendapat bahawa konkrit akan terus menjadi bahan binaan yang utama untuk beberapa dekad lagi. Ada beberapa sebab yang menjadikan konkrit begitu popular dalam bidang pembinaan, salah satu daripadanya ialah bahan mentah yang digunakan mudah didapati hampir di merata tempat dan wujud dalam kuantiti yang banyak. Selain itu, tenaga yang diperlukan

untuk menghasilkannya juga rendah di samping kos penyelenggaraannya lebih murah jika dibandingkan dengan bahan-bahan yang lain.

Walau bagaimanapun, konkrit sebagai bahan binaan mempunyai kekurangan tertentu. Sifat fizikalnya yang rapuh menyebabkan ia tidak dapat memenuhi kekuatan yang diperlukan dalam semua keadaan. Oleh itu, pengubahsuaian perlu dilakukan bagi meningkatkan prestasi konkrit agar ia dapat digunakan dengan lebih berkesan.

Konkrit atau mortar yang tidak bertetulang mempunyai daya tegangan dan juga keupayaan terikan yang rendah. Pendek kata, konkrit ialah bahan yang rapuh. Oleh itu, konkrit memerlukan tetulang untuk membolehkannya digunakan sebagai bahan binaan. Dalam sejarah pembinaan, tetulang konkrit biasanya dalam bentuk batang besi atau keluli yang selanjat dan diletakkan pada lokasi yang sesuai untuk melawan daya tegangan serta tegasan ricih.

Pada hari ini, peningkatan kualiti struktur konkrit bertetulang sedia ada bagi meningkatkan kapasiti kekuatan telah dilakukan menggunakan *Fibre Reinforced Polymer* (FRP). Penggunaan FRP telah dilaporkan lebih efektif daripada keluli berdasarkan kepada berat yang rendah dan mudah dikendalikan semasa pembinaan.

Struktur konkrit bertetulang akan mengalami kegagalan akibat daripada pelbagai punca seperti pengurangan tetulang, beban berlebihan dan reka bentuk yang tidak sempurna. Sehubungan itu, banyak struktur menjadi kurang berkemampuan dalam kapasiti menanggung beban. Untuk mengekalkan tahap selamat, struktur hendaklah sering kali dibaik pulih atau dipertingkatkan keupayaan untuk menanggung beban. Pertimbangan adalah lebih ekonomi untuk meningkatkan kualiti struktur dengan efektif dan kaedah memperkuat yang mudah daripada membina semula struktur tersebut, terutamanya jika ianya dilakukan berulang-ulang [2].

Kaedah pembaikan anggota lenturan konkrit bertetulang yang digunakan ialah melalui pengukuhan atau kepingan keluli kepada permukaan menggunakan *bolts*, pelekat *epoxy*, atau gabungan keduanya. Bagaimanapun, kesan kaedah pembaikan ini kepada pengurangan kepingan keluli yang digunakan perlu dikaji untuk

mempertimbangkan kedudukan kepingan keluli dengan kekuatannya. Kajian telah banyak dilakukan sebelum ini untuk mengenalpasti bentuk kegagalan yang timbul pada rasuk konkrit bertetulang yang diperkuat dengan kepingan FRP menunjukkan bahawa bentuk kegagalan yang berlainan boleh berlaku pada rasuk konkrit bertetulang yang diperkuat dengan kepingan FRP.

Kegagalan berterusan pada infrastruktur sedia ada telah menagih kaedah pembaikan yang paling sesuai. Akibat daripada pelbagai punca, struktur rasuk konkrit menjadi tidak sempurna, dan ini mungkin menyatakan bahawa struktur rasuk konkrit tidak berkemampuan menanggung beban khidmat dalam bentuk pesongan berlebihan dan keretakan, atau akibat kekuatan yang tidak mencukupi.

Dalam memberi perkhidmatan dan keperluan pada masa hadapan, infrastruktur hendaklah sama ada dibina semula atau dibaik pulih. Senggaraan sahaja adalah tidak akan membolehkannya mencapai piawaian yang dikehendaki. Struktur juga perlu diperkuat dengan mengambil kira perkara lain, selain daripada pemusnahan dan pembinaan semula.

Teknik memperkuat struktur konkrit yang telah terbukti berjaya setakat ini ialah:

- Menegangkan secara luaran (*external post tensioning*), dan
- Ikatan eposy kepingan keluli.

Memperkuat dengan menggunakan tampalan kepingan FRP dengan perekat epoksi (*epoxy*) adalah teknik terkini yang mana kajian lanjut sedang dilakukan.

Oleh itu, kajian ini akan memberi perhatian kepada kelakuan rasuk konkrit bertetulang yang diperkuat dengan kepingan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), salah satu daripada kaedah pembaikan dengan kepingan FRP.

1.2 Latarbelakang Masalah

Memperkuat struktur konkrit adalah perlu apabila suatu struktur konkrit itu tidak lagi terjamin kestabilannya dan keselamatannya. Struktur konkrit sedia ada

akan mengalami perubahan dari semasa ke semasa mengikut perkembangan dan jenis penggunaannya. Apabila elemen penyokong seperti dinding dan tiang terpaksa diubah kedudukannya, ini akan menyebabkan pengagihan semula beban yang ditanggung oleh struktur tersebut. Kadar aliran lalu lintas di suatu struktur jambatan konkrit pula akan mengalami pertambahan dari semasa ke semasa dan ini secara langsung akan meningkatkan beban yang ditanggung oleh struktur tersebut. Selain daripada itu, penurunan kekuatan juga akan berlaku akibat daripada faktor persekitaran seperti pengkarbonan, kebakaran dan serangan sulfat. Faktor-faktor ini akan menyebabkan penurunan keupayaan dan perlu diperkuatkan dengan kaedah yang sesuai dan ekonomi.

Menegangkan secara luaran (*external Post Tensioning*) menggunakan rod berkekuatan tinggi atau keluli merupakan suatu kaedah memperkuat yang terbukti berjaya meningkatkan kekuatan gelegar dalam jambatan dan bangunan. Kaedah ini bagaimana pun mempunyai sedikit masalah praktikal dalam menyediakan rod tegangan luaran yang bersesuaian, menyelenggara kestabilan sisi rasuk semasa tegangan dan mengawal pendedahan rasuk akibat pengkaratan.

Selain itu, kaedah yang telah terbukti berkesan ialah ikatan kepingan keluli dengan perekat epoksi kepada permukaan tegangan rasuk konkrit. Kaedah ini telah dikenalpasti lebih ekonomi dan lebih mudah berdasarkan kepada kesenangan pemasangan. Ia juga menghapuskan penggunaan tambatan dan boleh dilaksanakan semasa struktur sedang digunakan. Bagaimanapun, ianya mempunyai kesan jangka pendek yang bahaya akibat faktor pengkaratan hasil tindakbalas di antara permukaan keluli dengan perekat epoksi.

Alternatif lain ialah penggunaan kepingan FRP dengan perekat epoksi. Kajian penggunaan FRP untuk memperkuatkan anggota konkrit adalah masih dilaksanakan dan penggunaannya secara praktikal adalah masih terlalu kurang kerana kurangnya pengetahuan kepada kelakuan struktur rasuk yang telah diperkuat dengan kepingan FRP.

Keutamaan penggunaan kaedah ini adalah terlalu jelas kerana penggunaan kepingan FRP dengan perekat epoksi kepada bebibir tegangan rasuk, boleh

meningkatkan kekuatan dan menyokong rasuk. Dalam kajian ini, tumpuan akan diberikan kepada penggunaan kepingan polimer bertetulang gentian karbon (*Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP*) sebagai kaedah memperkuat rasuk yang merupakan satu kaedah yang masih baru dan sedang berkembang penggunaannya.

1.3 Objektif Kajian

Objektif utama kajian ini ialah untuk mengenalpasti kesan-kesan pemulihan rasuk konkrit bertetulang menggunakan kepingan polimer bertetulang gentian karbon pada permukaan tegangan, khasnya dalam kesan kekuatan lenturan rasuk.

Sehubungan dengan itu, objektif kajian yang dijalankan ini dapat diringkaskan seperti berikut:

1. Menganalisa dan membandingkan hasil keputusan ujian rasuk yang diperbaiki dan diperkuat dengan kepingan CFRP.
2. Mengkaji kesan pembaikan rasuk yang diperkuat dengan kepingan CFRP.

1.4 Skop Kajian

Skop kajian dibahagikan kepada tiga peringkat, iaitu:

1. Kajian literatur mengenai konkrit dan juga kepingan CFRP,
2. Membincangkan hasil keputusan ujikaji yang telah dilakukan oleh penyelidik-penyelidik terdahulu,
3. Ujian makmal, dan
4. Analisis keputusan.

Bahagian kajian literatur akan menyentuh mengenai pemilihan bahan untuk penyediaan rasuk konkrit bertetulang dan seterusnya dilekatkan kepingan CFRP pada permukaan tegangan, ini termasuk simen, batu baur halus, batu baur kasar dan tetulang berkekuatan tinggi. Dalam bahagian ujian makmal pula, akan menyentuh kaedah-kaedah untuk membancuh konkrit, penyediaan spesimen rasuk bertetulang dan ujian kekuatan rasuk dijalankan.

Dua spesimen akan disediakan, terdiri daripada satu spesimen pra-retak dan ditampal kepingan CFRP pada permukaan tegangan rasuk, dan satu spesimen tanpa pra-retak ditampal dengan kepingan CFRP akan dibuat bagi membandingkan keputusan yang akan diperolehi. Seterusnya, bahagian analisis keputusan akan dibincangkan bersama dengan data-data yang akan diperolehi.

Tumpuan dalam kajian ini ialah kepada perkara berikut:

1. Menjelaskan kesan penggunaan kepingan CFRP bagi memperkuat rasuk yang telah mengalami kerosakan.
2. Menjelaskan kesan kaedah penampalan yang telah digunakan dalam kajian ini.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Struktur konkrit bertetulang akan sentiasa mengalami kemerosotan semasa perkhidmatannya, dan ada juga yang perlu penyokong beban yang tinggi berbanding dengan tujuan rekebentuk asalnya. Sebahagian struktur memerlukan pemulihan atau penggantian, dengan pemulihan sebagai alternatif yang lebih ekonomik. Sebelum ini, prategangan dan perekatan kepingan keluli secara luaran pada permukaan tegangan rasuk konkrit dipraktikan. Kaji selidik penggunaan perekatan kepingan keluli secara luaran pada permukaan tegangan rasuk konkrit bertetulang, dengan tujuan pemulihan, telah dilaporkan pertama kalinya dalam pertengahan tahun 1960an [3].

Dalam usaha untuk meningkatkan keperluan pembaikan atau pemulihan struktur konkrit bertetulang, teknologi memperkuat struktur yang terkini telah muncul. Perlaksanaan membangunkan teknik tersebut melibatkan keberkesanan kos terutamanya Polimer Bertetulang Gentian (FRP) turut dibangunkan ke tahap di mana ia sesuai sebagai bahan untuk industri pembinaan.

Penggunaan kepingan polimer bertetulang gentian (FRP) bagi memperkuat dan memperbaiki struktur konkrit bertetulang memberi alternatif menarik kepada kepingan keluli. Bahan polimer bertetulang gentian (FRP) lebih ringan daripada keluli. Ia memberi nisbah kekuatan terhadap berat yang tinggi. Ia mempunyai rintangan terhadap karat dan secara keseluruhannya mempunyai rintangan kepada tindakbalas kimia. Teknik ini telah dikaji dengan meluas, dan

contoh struktur sedia ada yang diperkuatkan semula dengan menggunakan bahan komposit perekat epoksi boleh diperolehi dari literature.

Walaupun begitu, dalam tujuan untuk lebih memahami kelakuan lenturan rasuk, analisis lengkap diperlukan. Di bawah suatu pengaruh, tetulang diperbuat daripada beberapa lapisan (tetulang keluli, tampalan, FRP). Kelakuan tetulang dalam konkrit boleh diketahui dengan baik, tetapi gabungan konkrit dengan FRP adalah sukar untuk dianalisis, sebagaimana ia bersifat seperti lapisan tampalan. Manakala di bawah pengaruh yang lain, struktur sebelum diperkuat dengan tampalan FRP secara luaran kerap kali mempamirkan keretakan diikuti kerosakan awal konkrit.

Model untuk kelakuan rasuk diperkuat dan diperbaiki menggunakan kod unsur terhad dicadangkan [4]. Kajian ujikaji dilaksanakan untuk mengesahkan model. Beberapa rasuk disediakan bagi tujuan untuk kajian kelakuan lenturan. Dua parameter dikajiselidik iaitu kesan bilangan lapisan FRP dan pengaruh kerosakan awal.

Mengurangkan kos bahan, bersampingan dengan penjimatan buruh secara semulajadi dengan beratnya yang rendah dan kekuatannya yang tinggi menjadikan FRP alternatif terbaik kepada kepingan keluli untuk menambah kekuatan.

Tampalan kepingan keluli telah menjadi amalan industri pembaikan konkrit sejak dua puluh tahun lalu. Bagaimanapun, kos buruh yang tinggi untuk memasang kepingan yang berat, kesukaran dengan menampal kepingan, dan pengaratan kepingan telah menghadkan penggunaan teknik ini.

Disebabkan oleh kelebihan pada nisbah berat terhadap kekuatan, kos bahan yang rendah, panjang bahan yang tidak terhad, pemasangan yang mudah, dan rintangan terhadap pengaratan, penggunaan FRP lebih bernilai, dan berpotensi untuk memperkuat struktur secara tampalan luaran.

Tetulang secara tampalan luaran dengan FRP adalah sesuai untuk kegunaan kebanyakan struktur, seperti:

- Peningkatan keupayaan sesuai dengan perubahan penggunaan.
- Pembatasan yang tidak terhad bagi meningkatkan halangan gegaran atau gempa bumi.
- Kawalan keretakan dan merapatkan keretakan.
- Mamperkuat sekeliling bukaan baru pada papak.

Tanpa mengetahui jaminannya, penggunaan FRP untuk memperkuat struktur mempunyai sejarah ringkas yang munasabah, tetapi ia perlu disokong oleh ujikaji-ujikaji makmal dan analisis data seterusnya untuk memperluaskan penggunaannya.

Sehubungan itu, penggunaan FRP dalam memperkuatkan struktur dan penggunaan pemulihan hendaklah dilakukan dengan berhati-hati dan dengan penilaian kejuruteraan yang terkini. FRP tidak wajar digunakan dalam situasi seperti berikut:

- Keadaan asal tidak diketahui atau kerosakan yang terlalu teruk;
- Kewujudan pengaratan pada tetulang keluli tegangan;
- Tiada tetulang keluli tegangan untuk menghalang kelakuan lenturan, dan sebagainya.

Percubaan jurutera untuk menggunakan FRP sebagai tetulang luaran pada masa ini berhadapan dengan pelbagai cabaran kerana tiada peraturan jelas untuk rekabentuk konkrit dengan kewujudan tetulang FRP secara luaran.

2.2 Komposit Polimer Bertetulang Gentian (FRP)

2.2.1 Kandungan FRP Secara Umum

Bahan komposit bertetulang gentian adalah campuran kekuatan dan modulus gentian yang tinggi dengan matrik cecair mengeras. Dalam hal ini, kedua gentian dan matrik mempunyai identiti fizikal dan kimia tersendiri tetapi keluaran gabungan

kandungan tersebut tidak boleh dicapai sama ada oleh tindakan juzuk sahaja [5]. Ikatan penjajaran gentian tersebut dalam bahan matrik lembut memberikan keputusan kepada bahan komposit gentian bertetulang dengan kandungan yang lebih baik arah gentiannya. Disebabkan gentian adalah kuat pada arahnya, ia menghasilkan kelakuan melintang komposit seperti konkrit bertetulang keluli. Kelakuan melintang ini memberikan kebebasan kepada perekabentuk untuk membentuk sistem kekuatan bagi mengukuhkan keterikan tertentu.

Sifat bahan komposit biasanya termasuk rendah graviti tentu, tinggi nisbah kekuatan terhadap berat, dan tinggi nisbah modulus terhadap berat. Kebanyakan bahan FRP adalah tinggi rintangan terhadap pengaratan.

Ciri lain bahan FRP ialah lengkung tekanan elastik lawan tegangan untuk gagal hampir berkadar terus. Matrik bahan cacat bentuk plastik, di mana gentian, secara umum, tidak begitu.

Sehingga kelakuan komposit FRP secara umum dikuasai oleh tetulang, kecacatan bentuk plastik atau kelembutan ini adalah jarang dipamerkan oleh rekabentuk komposit untuk cadangan struktur. Kegagalan rapuh ialah bentuk kegagalan biasa komposit FRP di bawah tekanan berlebihan.

2.2.1.1 Gentian

Kandungan gentian dalam komposit adalah tidak melebihi 60 % komposit dan elemen penanggung beban yang utama. Kaedah penampalan dengan tangan mungkin menghasilkan salutan dengan jumlah gentian yang rendah, di mana kandungan gentian terhad di antara 30 % hingga 50 %. Gentian mula bertindak dalam tegangan dan cenderung kepada kekuatan melintang yang rendah. Cadangan untuk mengatasi sebahagian bentuk kelemahan komposit, setiap gentian adalah dibentuk dalam satu ikatan (bundles) menanggung kekuatan bersama. Gentian boleh digunakan dalam bentuk ini atau perlaksanaan seterusnya dalam bentuk kepingan, fabrik atau hamparan. Tiga jenis gentian yang biasa digunakan dalam matrik

komposit polimer ialah karbon, kaca dan *aramid*. Namun dalam kajian ini, tumpuan hanya kepada penggunaan gentian karbon.

2.2.1.2 Gentian Karbon

Gentian karbon boleh didapati secara komersial sejak 1959 [5]. Karbon diperbuat sama ada dari *polyacrylonitrile*, hasil keluaran pemprosesan petroleum, atau *rayon fiber precursors*.

Setiap gentian dihasilkan melalui penanggalan hidrogen dan gabungan lain daripada salutan carbon polimer di bawah tegangan, dan dengan demikian matrik karbon jernih terbentuk. Gabungan nitrat dan atom hidrogen tersebut kemudiannya dilepaskan melalui pemanasan di dalam atmosfera pada suhu amat tinggi (biasanya sehingga 3000C).

Tegangan digunakan untuk menempatkan rantai polimer sebelum dan selepas perlaksanaan, tegangan juga digunakan untuk menempatkan kepingan jernih selari kepada paksi gentian. Pengukuhan kepingan kristal ini ke dalam susunan adalah untuk penumpuan optimum kepada satu sama lain.

Secara teori, gentian carbon boleh mencapai keupayaan mekanikal sehingga 100 Gpa (15 msi) kekuatan tegangan dan modulus sehingga 1000 Gpa (140 msi) jika struktur kristal benar-benar diperolehi dan digabungkan. Rantai polimer mungkin menunjukkan kekuatan atau pun modulus dapat ditingkatkan sepenuhnya jika salutan dibuat dalam kedudukan jernih.

2.3 Kepingan Polimer Bertetulang Gentian Karbon (CFRP)

Kepingan CFRP adalah gabungan gentian karbon berprestasi tinggi dan matriks damar epoksi melalui proses penarikan atau *pultrusion* [6]. Proses penarikan atau *pultrusion* adalah proses selangar yang menghasilkan struktur gentian CFRP

dalam bentuk keratan seragam yang biasa diperolehi seperti rod, tiub dan kepingan yang berkekuatan tinggi.

Dalam proses ini, filamen direndam dalam damar epoksi dan ditarik secara selari dan berterusan menggunakan alat penarik supaya gentian selari dengan sempurna apabila dibentuk dan matriks mula mengeras. Langkah memastikan filamen gentian karbon selari adalah penting bagi membentuk ciri-ciri tetulang yang lebih kuat.

Penjajaran gentian yang selari dan digabungkan dengan damar epoksi menghasilkan kekuatan tegangan yang sangat tinggi dalam arah membujur, manakala kekuatan dalam arah melintang penjajaran gentian adalah rendah dan tidak sesuai untuk tujuan menanggung pembebanan.

2.4 Perbandingan Antara Kepingan CFRP dan Kepingan Keluli.

Dalam meningkatkan kualiti struktur konkrit, penggunaan kepingan keluli telah terlebih dahulu digunakan sebelum penggunaan kepingan FRP dan kemudiannya kepingan CFRP diperkenalkan. Disebabkan oleh kelebihan sifat kepingan CFRP, penggunaan kepingan CFRP dalam kejuruteraan awam boleh diringkaskan seperti berikut:

- Kepingan CFRP boleh diperolehi mengikut ukuran dan saiz yang dikehendaki mengikut kesesuaian penggunaan di tapak bina. Kelebihan ini adalah berdasarkan kepada panjang kepingan CFRP yang tidak terhad daripada proses *pultrusion*.
- Kegagalan struktur konkrit seringkali dikaitkan dengan masalah pengurangan yang menyebabkan peningkatan kos penyelenggaraan bagi mengembalikan dan meningkatkan kemampuan struktur konkrit. Oleh kerana kepingan CFRP merupakan satu bahan komposit tahan karat yang baik terhadap bahan kimia, maka ia adalah pilihan terbaik untuk mengatasi masalah ini disamping menambah ketahanan dan kelasakan yang tinggi.

- Kekuatan dan kekukuhan yang tinggi membolehkan struktur konkrit membawa bebanan yang lebih besar. Kekuatan tegangan CFRP mencapai 3000 N/mm^2 [7] membolehkan struktur konkrit menambah kekuatan muktamad dan kekukuhan dari segi kebolekhidmatan struktur berkenaan.
- Nisbah berat kepada kekuatan kepingan CFRP yang rendah membolehkan pemasangan dan pembinaan disiapkan dalam jangka masa yang singkat. Faktor ini seterusnya dapat mengurangkan kos akibat jangka masa pembinaan yang singkat dan tenaga kerja yang dapat dikurangkan.
- Lekatan di antara kepingan dengan struktur juga perlu diambil perhatian kerana kegagalan struktur yang dibaiki mungkin berlaku akibat kegagalan tampalan yang tertanggal. Dengan penggunaan kepingan CFRP, masalah ini dapat diatasi kerana kepingan CFRP lebih ringan.
- Dari segi peralatan, pemasangan CFRP boleh dipasang tanpa peralatan yang tertentu seperti alat mengangkut dan mengangkat ke tempat pemasangan kerana kepingan CFRP lebih ringan dan dalam bentuk gulungan.

Merujuk kepada Deuring M. dan Steiner W. (1998) [8], perbandingan kepingan keluli dan kepingan CFRP adalah seperti Jadual 2.1.

Jadual 2.1: Perbandingan di antara kepingan CFRP dan Kepingan keluli.

Kriteria	Kepingan CFRP	Kepingan Keluli
Berat sendiri	Rendah	Tinggi
Kekuatan tegangan	Sangat tinggi	Tinggi
Ketebalan	Sangat rendah	Rendah
Hakisan dan Pengaratan	Tidak berlaku	Berlaku
Kebolehkerjaan	Mudah, boleh lentur	Sukar, tegar
Galas beban	Arah tegangan sahaja	Sebarang arah
Panjang kepingan	Mengikut kesesuaian	Terhad
Tindihan sambungan	Mudah	Sukar
Kelakuan lesu	Tinggi	Sederhana
Kos bahan	Tinggi	Rendah
Kos pemasangan	Rendah	Tinggi
Peralatan terlibat	Tidak memerlukan peralatan khas	Perlu peralatan mengangkat dan pengapit.

2.5 Penampalan Kepingan CFRP pada Struktur Konkrit

Pelbagai kajian teori dan ujikaji telah dijalankan di seluruh dunia untuk memerhatikan kelakuan struktur konkrit bertetulang yang diperkuat dengan kepingan CFRP. Alkhrdaji dan Nanni (1999) misalnya telah mengkaji teknik tampalan FRP pada struktur dan menunjukkan keberkesanan FRP dalam menambahkan kekuatan muktamad. Manakala Aprile et. al (2001) melihat kepada ciri-ciri tampalan epoksi dan mod kegagalan tampalan yang disifatkannya kegagalan rapuh setelah konkrit dan tetulang memindahkan beban kepada kepingan CFRP. Penanggalan sering berlaku bermula pada kedudukan beban dikenakan pada rasuk, hujung kepingan dan kedudukan di mana adanya keretakan pada konkrit.

Marco Arduini dan Antonio Nanni [9] mencadangkan dalam ujikajinya supaya kepingan ditampal mengikut spesifikasi pengilang sistem bahan tersebut. Ini termasuk pematuhan kepada pembahagian, pengaulan, pemasangan dan

penyempurnaan hamparan epoksi. Kebiasaannya operasi untuk hamparan secara manual adalah:

1. Menyapukan permukaan asas (*primer surface*),
2. Menyapukan lapisan pertama,
3. Menyampurkan epoksi,
4. Menghamparkan kepingan CFRP,
5. Menanggalkan kertas belakang, dan
6. Menyapukan lapisan kedua campuran epoksi.

Dua operasi terakhir diulangi bagi asas lapisan bertindih. Tampalan kepingan CFRP dikawal melalui perlaksanaan di bawah spesimen seperti mana ia sepatutnya dibuat dalam tapak untuk membaiki elemen lenturan.

Menurut Steiner W. (1998) [6], tampalan merupakan bahan yang ekonomik dan tidak mngubah bentuk luaran suatu struktur. Penggunaan tampalan memastikan tegasan yang dikenakan diagihkan secara seragam pada keseluruhan permukaan antara struktur dan kepingan bagi memastikan tiada tegasan puncak yang berlaku sepertimana sambungan bolt.

Permukaan struktur konkrit dan kepingan hendaklah bersih daripada debu, minyak dan sebagainya bagi memastikan tampalan di antaranya tidak terjejas. Kehadiran kotoran boleh menjejaskan tarikan molekul antara tampalan dan permukaan yang menghasilkan daya ikatan fizikal. Langkah terbaik meningkatkan daya ikatan ialah dengan mengasarkan permukaan struktur konkrit dengan menggunakan *air tool*.

Nanni A. (1999) [10] mengariskan langkah-langkah penyediaan pemasangan kepingan CFRP seperti berikut:

1. Permukaan konkrit hendaklah diperbaiki daripada sebarang kecacatan dan keretakan samada menggunakan bancuhan simen atau epoksi pada retakan yang melebihi 10 mm.
2. Tetulang yang terdedah hendaklah dibersihkan daripada pengajaran.
3. Permukaan konkrit dikasarkan menggunakan peralatan yang sesuai seperti *air tool*, atau *grinding*.

4. Permukaan yang telah dikasarkan hendaklah dibasuh dengan air bersih bagi memastikan tiada debu konkrit pada permukaan yang disediakan.
5. Menyapu lapisan pertama epoksi dan *epoxy putty filler* pada permukaan konkrit.
6. Permukaan kepingan dan permukaan konkrit disapukan lapisan resin dan dibiarkan beberapa ketika supaya resin meresap ke dalam celah-celah permukaan yang tidak rata sebelum penampalan dilaksanakan.
7. Bagi melindungi kepingan CFRP dan resin daripada pancaran ultra lembayung (UV), kepanasan dan kerosakan, satu lapisan *gel coat* diperlukan.

2.6 Bancuhan Konkrit dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan

Bancuhan konkrit merupakan langkah pertama yang perlu diambil perhatian dalam memastikan kekuatan muktamad struktur konkrit bertetulang dapat dicapai. Oleh itu, pertimbangan yang sewajarnya perlu diambil semasa rekabentuk bancuhan, mengangkut dan menempatkan bancuhan.

2.6.1 Bahan Bancuhan dalam Konkrit

Bahan bancuhan yang terlibat termasuklah simen, batu baur halus, batu baur kasar dan bahan tambah kimia jika diperlukan.

Simen merupakan bahan utama dalam konkrit. Ia berfungsi sebagai pengikat kepada struktur konkrit iaitu mengikat batu baur halus dan batu baur kasar dalam satu ikatan yang kuat. Oleh itu, pemilihan jenis simen akan mempengaruhi sebahagian besar kekuatan simen. Terdapat pelbagai jenis simen di pasaran mengikut kegunaan masing-masing dalam keadaan tertentu. Antara jenis simen yang biasa digunakan ialah Simen Portland Biasa, Simen Mengeras Cepat, Simen Portland Penahan Sulfat dan Simen Portland Haba Rendah.

Selain daripada itu, penggunaan batu baur juga mempengaruhi kekuatan konkrit. Oleh itu pemilihan batu baur dari zon yang berlainan akan memberi kekuatan yang berbeza. Ini adalah kerana batu baur dari zon berlainan mempunyai saiz dan bentuk yang berlainan dan ini akan memberikan jenis ikatan yang berbeza dalam konkrit itu selepas pengerasan.

Disamping itu, bahan tambah kimia juga biasa digunakan dan akan memberikan kesan kepada kekuatan konkrit. Dalam perbincangan ini, tiada bahan tambahan kimia digunakan kerana ujikaji menumpukan perhatian kepada keberkesanan penggunaan kepingan CFRP dalam pemulihan rasuk konkrit bertetulang.

2.6.2 Pengelompokan

Pengelompokan merupakan satu kaedah untuk menentukan nisbah simen, batu baur (kasar dan halus) dan air dalam sesuatu bancuhan konkrit. Nisbah yang berbeza akan memberikan kekuatan konkrit yang berbeza. Jadi, proses dalam menentukan nisbah ini hendaklah diberi perhatian. Malangnya, apabila membuat bancuhan di tapak bina yang sebenar, peringkat ini biasanya tidak diberikan perhatian yang sewajarnya.

Kaedah yang paling berkesan untuk menentukan nisbah antara simen, pasir, batu baur dan air ialah dengan kaedah timbangan. Terlebih dahulu bahan yang akan digunakan ditentukan dengan kiraan supaya mendapatkan nilai yang tepat. Kuantiti air yang akan digunakan juga perlu dikawal supaya mencapai keboleherjaan yang dikehendaki. Keadaan batu baur juga hendaklah diperhatikan supaya sebaik-baiknya berada dalam keadaan kering. Berbeza dengan keadaan di tapak bina, batu baur terdedah terus kepada cuaca, maka kelembapan pada batu baur berbeza-beza mengikut keadaan cuaca semasa membuat bancuhan. Oleh yang demikian, pembetulan kepada nisbah campuran perlu dilakukan untuk mendapatkan bancuhan pada gred yang sebenarnya.

2.6.3 Penggaulan

Penggaulan bahan yang digunakan dalam bancuhan konkrit hendaklah dilakukan dengan rata dan menyeluruh. Ini dapat dicerap dengan memerhatikan perkembangan warna yang seragam dan konsisten dalam bancuhan tersebut. Secara teknikal, batu baur kasar akan dicampurkan terlebih dahulu, kemudian dimasukkan simen dan seterusnya diikuti oleh batu baur halus. Apabila ketiga-tiga bahan bancuhan telah digaul dengan rata, maka air dimasukkan tetapi kuantitinya perlu dikawal supaya mendapat kebolehkeraan yang sesuai.

Biasanya, bancuhan konkrit di dalam makmal dibuat dengan menggunakan mesin '*Pan-Type Mixer*' dan tempoh pengaulan adalah dalam tempoh 2 minit hingga 4 minit.

2.6.4 Pemindahan dan Penempatan

Pemindahan konkrit dari pengaul ke tempat peletakan boleh dilakukan dengan pelbagai kaedah asalkan tidak menyebabkan kelewatan atau pengasingan. Lazimnya, kaedah yang digunakan di tapak bina termasuklah menggunakan kereta sorong, pelonggok, kren pam atau talian paip mengikut keadaan di tapak bina dan kuantiti bancuhan konkrit yang dipindahkan. Terdapat juga kaedah, di mana bancuhan dibuat di tempat konkrit akan ditempatkan terutamanya bagi binaan yang memerlukan bancuhan dalam kuantiti yang kecil.

Sebelum pemindahan dan penempatan, acuan konkrit disediakan dengan teliti dan cukup kukuh supaya tidak berlaku kecacatan pada konkrit setelah mengeras. Acuan juga perlu dibersihkan dan disapu dengan agen penanggal seperti gris untuk mengelakkan kecacatan pada konkrit keras semasa kerja penanggalan acuan. Semua benda asing yang ada dalam acuan hendaklah dikeluarkan supaya tidak memberi kesan negatif kepada kekuatan konkrit.

2.6.5 Pemadatan

Semasa menempatkan bancuhan konkrit ke dalam acuan, konkrit perlu dipadatkan dengan sempurna supaya lompong udara dapat dikurangkan untuk memastikan ikatan yang berkesan dan menyeluruh berlaku antara batu baur halus dan batu baur kasar. Pemadatan juga dapat menjamin lekatan yang menyeluruh antara konkrit dengan tetulang supaya memberi kekuatan tegangan yang paling maksimum pada struktur konkrit. Keperluan pemadatan yang menyeluruh perlu diambil perhatian kerana 5% lompong udara yang terperangkap mengikut isipadu konkrit boleh menyebabkan konkrit kehilangan kekuatan kira-kira 30%.

Pemadatan biasanya dilakukan dengan tangan atau getaran mekanikal di dalam makmal. Namun, getaran mekanikal lebih banyak digunakan khasnya di tapak bina kerana ia boleh mencepatkan penempatan dan pemadatan konkrit. Alat getaran mekanikal yang biasa digunakan untuk kerja memadatkan konkrit baru (*fresh concrete*) kerana alat ini dapat memberi getaran di antara batu baur supaya membenarkan lompong udara yang lebih ringan naik ke atas.

Pada umumnya, terdapat empat jenis getaran mekanikal iaitu getaran dalaman, getaran luaran, getaran permukaan dan meja getaran. Pada prinsipnya, getaran dalaman dan getaran luaran adalah sama tetapi pengetar luaran biasanya digunakan dalam pemadatan konkrit pra-tuang atau konkrit in-situ yang nipis. Pengetar permukaan pula digunakan untuk memadatkan papak ufuk yang nipis berbentuk landai seperti tempat laluan dan sebagainya (ketebalan maksimum ialah 150 mm untuk mendapatkan keberkesanan yang terbaik). Meja pengetar pula lazimnya digunakan di dalam makmal. Ia sesuai untuk memadatkan keratan-keratan spesimen konkrit yang berlainan saiz dan kecil. Kelebihan pada penggunaan meja pengetar ialah ia dapat memberi pelbagai frekuensi pemadatan bagi tujuan penyelidikan dan kesesuaian frekuensi pemadatan yang berbeza untuk gred konkrit yang berbeza.

2.6.6 Pengawetan

Tujuan pengawetan konkrit adalah untuk mengawal kandungan lembapan dan suhu konkrit selepas proses penempatan selesai dilaksanakan. Peringkat ini amat penting kerana ia dapat meminimumkan pengeringan dan tegasan haba di dalam konkrit muda yang boleh mengakibatkan keretakan permukaan selepas konkrit mengeras yang digelar keretakan plastik. Disamping itu, ia juga dapat membenarkan konkrit membina dan mencapai kekuatan yang diperlukan. Biasanya secara praktikal, guni basah digunakan dalam proses pengawetan konkrit supaya dilindungi dari hujan dan pancaran terus matahari.

Pengawetan biasanya mengambil masa yang agak lama kerana penghidratan simen berlaku dalam kadar yang perlahan iaitu dalam tempoh 28 hari. Bagi 1 hari hingga 14 hari yang pertama, adalah penting pengawetan yang sewajarnya diambil perhatian bagi memastikan pembentukan kekuatan mampatan konkrit yang dikehendaki boleh tercapai. Oleh itu, ujian mampatan kiub bagi 3 hari dan 7 hari yang pertama adalah penting dan keputusannya dapat meramalkan kekuatan konkrit yang boleh dicapai pada usia konkrit 28 hari. Beberapa kaedah pengawetan yang boleh dilaksanakan di tapak bina seperti menggunakan guni basah, habuk kayu lembab, kepingan kalis air dan juga penyemburan membran pengawet pada permukaan atas konkrit.

2.6.7 Nisbah Air-Simen

Kekuatan konkrit pada suatu umur tertentu dan diawet dalam keadaan tertentu adalah bergantung kepada beberapa faktor yang antaranya ialah nisbah air-simen dan darjah pemadatan. Nisbah air-simen ialah nisbah berat air (iaitu berat air yang dicampurkan dan berat air bebas di permukaan batu baur) dengan berat simen yang digunakan dalam satu bancuhan konkrit.

Walaupun campuran yang kering boleh menghasilkan kekuatan yang tinggi, namun untuk pemadatan yang sempurna dilaksanakan, akan berlaku kesukaran kerana kandungan air yang rendah menyebabkan komposisi konkrit tidak dapat

bercampur dengan sekata. Sebaliknya, bagi konkrit yang terlalu basah, pengasingan dan lelehan air akan berlaku sehingga menjejaskan mutu konkrit dan seterusnya mengurangkan kekuatannya.

2.7 Kajian-kajian Lepas

Penggunaan bahan FRP untuk memperbaiki struktur menunjukkan beberapa kelebihan dan telah dikajiselidik terdahulu di seluruh dunia (contohnya Saadatmanesh dan Ehsani 1991 a, b; Chajes et al. 1994; Meier dan Winistorfer 1995; Varastehpour dan Hemelin 1995; CEB-FIP 1993; Arduini et al..., dalam akhbar, 1997) [9]. Penulisan kajian tersebut telah membuat perhatian mendalam kajiannya kepada memperkuat rasuk konkrit bertetulang. Ia juga telah menunjukkan keputusan penggunaan FRP, bahawa bentuk kegagalan anggota lenturan mungkin bertukar bentuk kemulurannya kepada kerapuhan. Sebagai contoh, kegagalan riceh dalam konkrit mungkin mengurangkan keupayaan lenturan norminal yang dijangkakan dalam pengiraan menggunakan persamaan rekabentuk biasa. Mengubah ketebalan kepingan FRP, mengubah panjang penampalannya, atau menambah tetulang riceh, nyata sekali mengubah agihan keretakan sepanjang rasuk dan mengubah mekanisme kegagalan (Arduini et al..., dalam akhbar, 1997). Mekanisme kegagalan yang biasa adalah FRP rapuh, konkrit hancur, kegagalan riceh, mengelupas pada permukaan antara konkrit dan perekat (*adhesive*) dan sebagainya (arduini et al..., dalam akhbar, 1997).

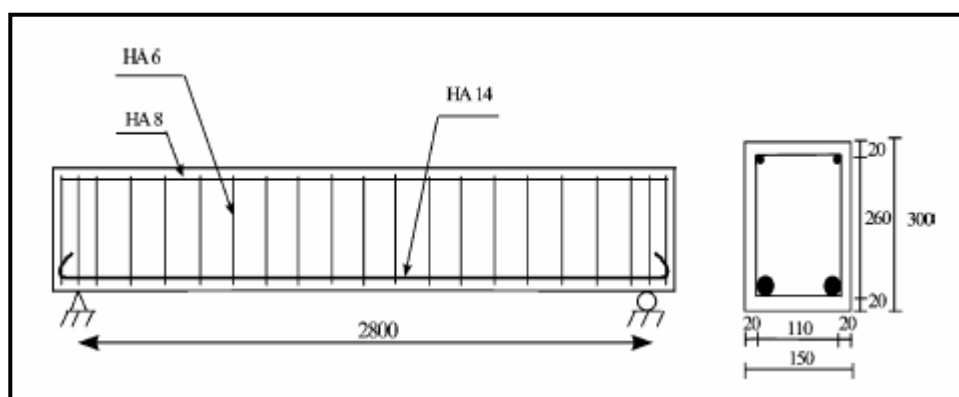
2.7.1 Ujikaji Pertama

Ujikaji ini adalah ujikaji yang telah dilaksanakan oleh Francois Buyle-Budin, Emmanuelle David, dan Eric Ragneau [4].

2.7.1.1 Ciri-ciri Bahan

Tujuh rasuk beraneka diuji untuk menilai kesan penampalan kepingan CFRP secara luaran kepada kemampuan lenturan rasuk konkrit bertetulang. Kesemua tujuh rasuk mempunyai panjang rentang 2800 mm (rasuk adalah 3 m panjang) dan dimensi keratan rentas 150 mm x 300 mm.

Rasuk disediakan dua batang tetulang dalaman berdiameter 14 mm (menyebabkan kegagalan rasuk dalam mampatan konkrit) dan 21 pengikat tetulang berdiameter 6 mm (selang 150 mm). Kekuatan alah keluli ialah 500 Mpa (Rajah 2.1).



Rajah 2.1: Perincian Specimen Rasuk Konkrit Bertetulang

Campuran konkrit dengan nisbah air simen bersamaan 0.4 digunakan. Simen adalah jenis I simen *Portland*. Saiz maksimum aggregate ialah 16 mm. Kekuatan mampatan konkrit untuk tujuh rasuk pada usia ujikaji dianggarkan 40 Mpa dan diperincikan dalam Jadual 2.2.

Kepingan *S SIKA CarboDur* digunakan bagi memperkuat rasuk. Ciri-ciri bahan berlamina CFRP diberikan dalam Jadual 2.3. Data-data tersebut disediakan oleh pengeluar dan disahkan melalui ujian-ujian tegangan.

Kepingan adalah 1.2 mm tebal dan 50 mm lebar. Satu lapisan daripada dua kepingan atau dua lapisan daripada dua kepingan ditampal. Rasuk P1 adalah rasuk kawalan. Dua rasuk P2 dan P3 adalah rasuk diperkuat dengan satu lapisan, dan dua lagi rasuk P4 dan P5 adalah diperkuat dengan dua lapisan (Rajah 2.2). Rasuk P6 dan P7 adalah dibebankan dahulu kepada 50% beban muktamad rasuk kawalan. Peratus ini dikenali sebagai darjah kerosakan, dan nilai keterikan dalam tetulang keluli ialah bersamaan 3%. Pada peringkat ini, kelembutan keluli diperhatikan. Kedua rasuk tersebut kemudian diperbaiki dengan masing-masing menggunakan satu lapisan dan dua lapisan.

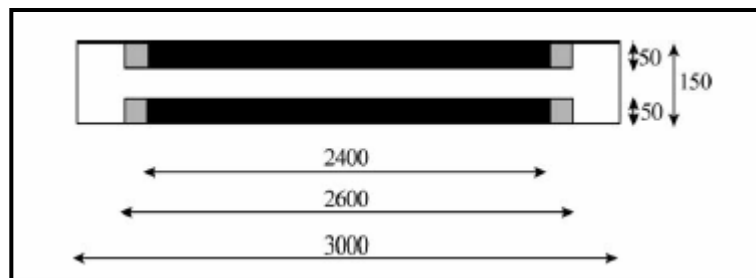
Jadual 2.2: Ciri-ciri rasuk dan keputusan utama

Rasuk	Tetulang (mm ²)	Kepingan CFRP (mm ²)	Kekuatan Konkrit (Mpa)	Beban Muktamad (kN)
P1	308		38.7	91
P2	308	120	39.2	137
P3	308	120	39.2	143
P4	308	240	38.4	156
P5	308	240	40.1	159
P6	308	120	40.4	135
P7	308	240	39.1	148

Rasuk	Pesongan Tengah Rentang (mm)	Pra-retak	Keterikan CFRP (%)	Index Kemuluran
P1	50	tiada		3.24
P2	18	tiada	4.1	1.15
P3	23	tiada	4.2	1.32
P4	15	tiada	3.0	1.0
P5	16	tiada	3.0	1.0
P6	22	ada	3.9	1.9
P7	31	ada	3.1	1.9

Jadual 2.3: Ciri-ciri kepingan S Sika CarboDur

Kepekatan	Kekuatan Tegangan (N/mm ²)	Modulus Elastik (N/mm ²)	Pemanjangan (%)
1.6	2400	150,000	14



Rajah 2.2: Satu lapisan tunggal atau satu lapisan berkembar dengan kepingan CFRP. Ciri-ciri utama rasuk dan keputusan utama ujian adalah disenaraikan dalam Jadual 1.

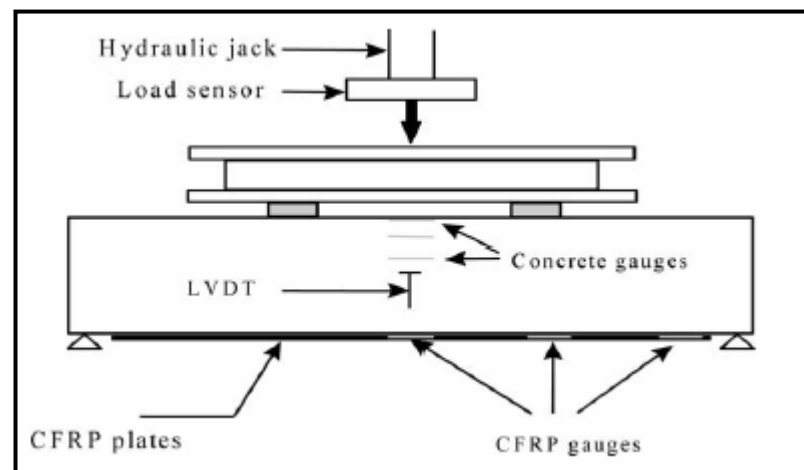
2.7.1.2 Penyediaan Contoh

Permukaan bawah rasuk dikasarken sehingga ke aggregate dengan roda putaran. Pada permulaan pembebanan rasuk, keretakan disuntik dengan damar epoksi. Kemudian permukaan konkrit dan kepingan hendaklah benar-benar bersih sebelum penampalan. Pelekat *Sikadur-30* disapukan pada permukaan kepingan dan pada permukaan rasuk konkrit. Ketebalan lapisan pelekat hendaklah seragam (1 mm) disepanjang permukaan.

2.7.1.3 Bentuk Ujikaji

Mesin ujian INSTRON khas berkapasiti 500 kN digunakan. Beban dikenakan secara beransur-ansur. Bentuk ujian lenturan ialah beban satu titik (Rajah 2.3).

Semasa ujian, pesongan tegak pada tengah rentang dan beban dikenakan dicatat. *Strain gauge* digunakan bagi membaca keterikan tegangan dalam tetulang, keterikan mampatan pada permukaan atas konkrit dan keterikan tegangan ke dalam komposit (Rajah 2.3).

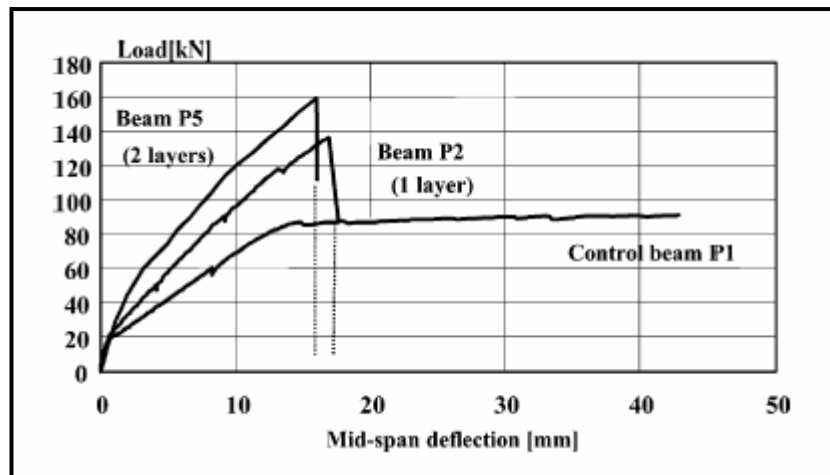


Rajah 2.3: Kedudukan *Strain Gauge* dan beban yang dikenakan.

2.7.1.4 Keputusan

2.7.1.4.1 Rasuk telah Diperkuat

Plot beban lawan pesongan untuk rasuk diperkuat P1, P2 dan P5 ditunjukkan dalam Rajah 2.4.



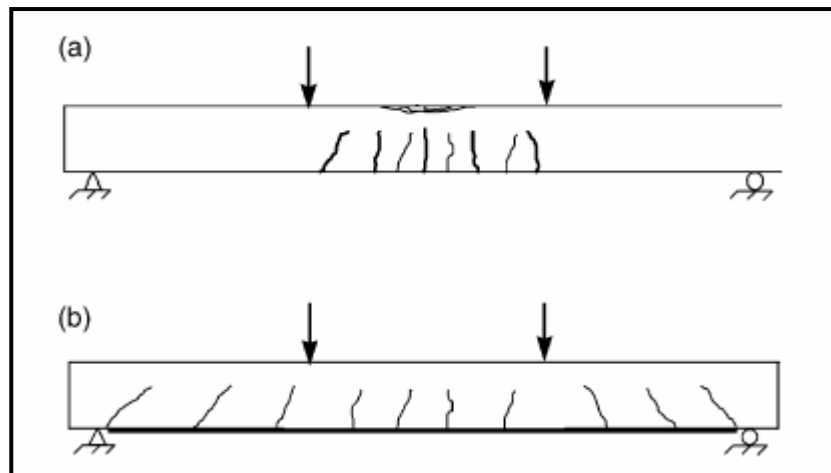
Rajah 2.4: Plot beban melawan pesongan di tengah rentang untuk rasuk P1, P2, P5 yang diperkuat dengan kepingan CFRP. (a) Rasuk kawalan P1. (b) Satu lapisan tunggal rasuk diperkuat P2

P3 menunjukkan kelakuan yang sama kepada P2. P4 menunjukkan kelakuan yang sama kepada P5.

Beban muktamad rasuk P2 dan P3 dinaikkan 51% dan 58% masing-masing melebihi P1 dan kelakuan rasuk diperhatikan. Keterikan dalam tetulang keluli berkurangan dan berlaku pesongan tengah rentang. Rasuk P4 dan P5 gagal pada 156 kN dan 159 kN (73% dan 77% melebihi P1). Dalam kes ini, pesongan tengah rentang, keterikan tegangan dalam kepingan CFRP dan lebar keretakan adalah sangat berkurangan berbanding rasuk P2 dan P3.

Penggunaan dua lapisan kepingan CFRP boleh menghasilkan peningkatan yang penting dalam beban muktamad dan kelakuan rasuk. Tiada perbezaan antara dua lapisan semasa ujian diperhatikan.

Pengaruh tetulang pada pembesaran keretakan adalah sangat baik. Keretakan lebih sukar kelihatan dan pembukaan keretakan menghampiri 0.1 mm (sebahagian milimeter untuk rasuk kawalan), Rajah 2.5.

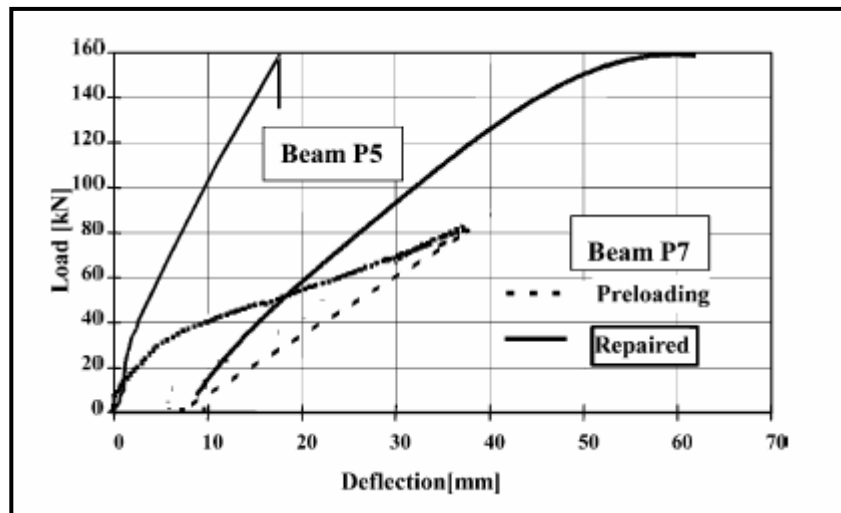


Rajah 2.5: Bentuk keretakan pada rasuk kawalan P1 dan rasuk diperkuat P2.

Peningkatan keterikan diukur pada permukaan konkrit dan pelan keretakan hanya dilengkapi untuk ramalan jika kegagalan struktur adalah sama atau sebaliknya. Walaubagaimanapun, rasuk bertetulang CFRP memberikan peningkatan elastik untuk gagal. Kelemahan utama tetulang ini ialah mod kegagalan rapuh dinamakan perubahan arah (*peeling-off*). Indek lengkung kemuluran (lengkung pada kegagalan dibahagikan oleh lengkung pada alah) boleh memberi anggaran kekurangan kemuluran rasuk tersebut.

2.7.1.4.2 Rasuk Diperbaiki

Kesemua rasuk diperbaiki dengan CFRP menunjukkan peningkatan ketara dalam kelakuan lengkukan dan keupayaan muktamad berbanding dengan rasuk kawalan (Rajah 2.6). Pembebanan permulaan tidak benar-benar memberi kesan terhadap keupayaan struktur pada rasuk diperbaiki kecuali penurunan ketegaran. Pada peringkat muktamad, rasuk pra-retak yang diperbaiki menunjukkan ciri-ciri mekanikal yang lebih baik daripada rasuk kawalan. Bagaimana pun ia menunjukkan keterikan dan pesongan yang tinggi tengah rentang.



Rajah 2.6: Plot beban melawan pesongan di tengah rentang untuk rasuk diperbaiki 2 lapisan kepingan CFRP (P7) dibandingkan dengan 2 lapisan rasuk diperkuat (P5).

2.7.1.4.3 Mod Kegagalan

Mod kegagalan bagi rasuk diperkuat dengan CFRP, adalah berbeza daripada rasuk konkrit bertetulang yang biasa.

Kesemua rasuk diperkuat secara luaran gagal dalam keadaan yang sama. Namun rasuk konkrit bukan pra-retak semasa ujian sangat dipengaruhi oleh kepingan CFRP. Keretakan pertama lambat terjadi dan hampir tidak kelihatan berbanding rasuk kawalan.

Keretakan ricih kelihatan pada hujung kepingan pada nilai beban di antara 70% dan 80% daripada beban muktamad. Kemudian wujud keretakan berdekatan rentang dengan melalui keretakan lengkukan sedia ada. Akhirnya, penyebaran rapuh pada keretakan mendatar dalam penutup konkrit kelihatan. Keretakan ini berlaku disepanjang permukaan alah, iaitu di bahagian permukaan keluli konkrit. Rasuk gagal sebaik sahaja keretakan terbuka dan pengasingan penutup konkrit daripada sebahagian rasuk.

Sebelum memperbaiki rasuk, ia boleh dicatatkan sebagai keretakan terbuka dan tetulang keluli alah. Semasa ujian lengkukan kedua, bukaan keretakan sedia ada meningkat. Untuk rasuk P6 dan P7, mod kegagalan adalah sama, seperti yang dihuraikan sebelum ini. Ia disatukan dengan dipertimbangkan lebar keretakan keseluruhan rasuk.

Keupayaan lengkukan penuh pada tampalan secara luaran rasuk tidak boleh dicapai semasa ujian ini. Teknik penguatan ini perlu kajian lanjut untuk memerhatikan kelewatan mod kegagalan supaya rasuk mencapai keupayaan lengkukan penuh.

2.7.2 Ujikaji Kedua

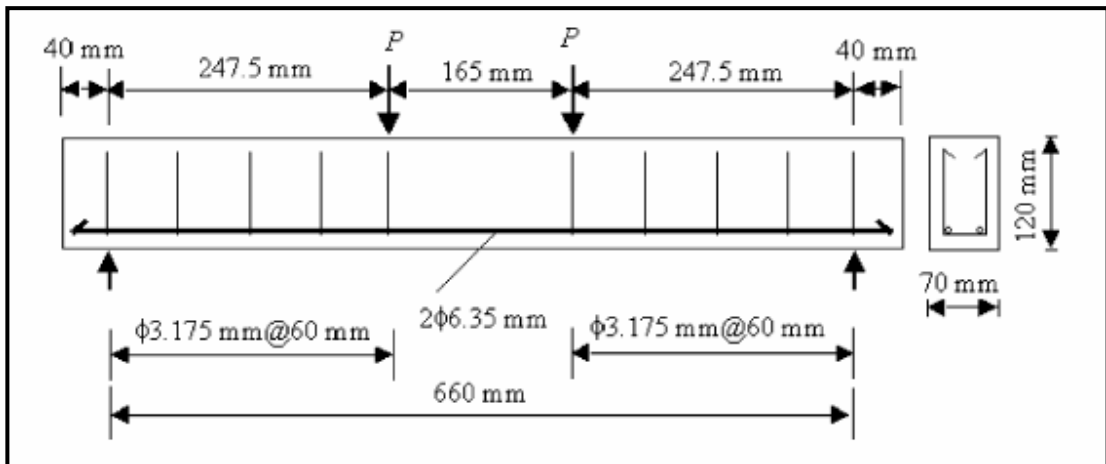
Ujikaji ini adalah ujikaji yang telah dilaksanakan oleh F. Taheri, K. Shahin, dan I. Widiarsa dari Jabatan Kejuruteraan Awam Universiti Dalhousie, Kanada [3].

2.7.2.1 Program Ujikaji

Ujikaji dibahagikan kepada 2 fasa. Fasa pertama, sembilan siri rasuk diuji di bawah beban statik. Untuk menjelaskan pra-retak, 2 mm nod dikenakan pada permukaan tegangan (dalam konkrit) rasuk di tengah rentang. Siri A dan B direka sebagai siri rasuk kawalan, dengan dan tanpa pra-retak. Siri rasuk berikutnya dengan pra-retak awal dan diperkuat dengan kepingan GFRP. Sebahagian permukaan tegangan rasuk dikasarkan. Kepingan GFRP digunakan sebagai tetulang luaran, dikelaskan kepada dua yang berlainan panjang iaitu 600 mm dan 350 mm.

Fasa kedua, enam siri rasuk; satu siri rasuk kawalan, dan dua siri rasuk konkrit bertetulang diperkuat dengan kepingan GFRP dan tiga siri rasuk konkrit bertetulang diperkuat dengan kepingan CFRP. Rasuk tersebut adalah pra-beban (tanpa alah pada tetulang keluli), untuk mendorong keretakan, dan kesan kelakuan di bawah beban khidmat rasuk. Kesemua rasuk dalam kedua-dua fasa ini berukuran 740 mm x 120 mm x 70 mm, dengan tetulang lenturan dan riceh seperti ditunjukkan

dalam Rajah 2.7 di bawah. Sifat mekanikal bahan yang digunakan dalam ujikaji ini diringkaskan dalam Jadual 3.



Rajah 2.7 : Perincian Rasuk Ujikaji.

Bagi penyediaan permukaan rasuk, permukaan tegangan setiap rasuk dan setiap kepingan FRP dikasarkan, dan habuk dibersihkan (dengan menggunakan tekanan udara) sebelum ditampal kepingan FRP. Specimen kemudian diletakkan dalam *vaccum bagging film* dan dikenakan tekanan 74 kPa bagi memastikan keseragaman tampalan di antara kepingan FRP dan rasuk konkrit.

Jadual 2.4 menyenaraikan spesifikasi dan rekabentuk semua rasuk yang telah diuji dalam kedua fasa tersebut. Rasuk diperkuat dikategorikan dengan tumpuan kepada jenis kepingan tetulang FRP, panjang kepingan FRP dan penyediaan permukaan.

Jadual 2.4 : Kandungan Mekanikal Bahan Ujikaji.

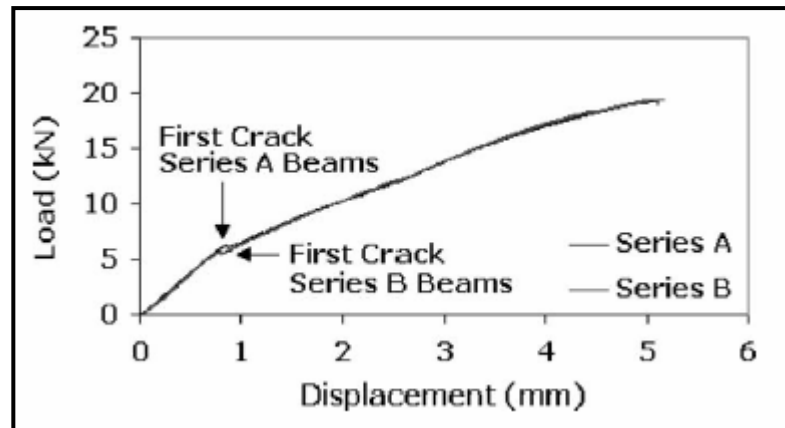
Material	Effective longitudinal modulus (MPa)	Poisson ratio	Used in phase
Concrete—phase I	4000	0.18	I ($f'_c = 20.0$ MPa)
Concrete—phase II	26,500	0.18	II ($f'_c = 30.7$ MPa)
Steel	200,000	0.3	I and II (400 MPa)
Epoxy	3220	0.35	I and II
GFRP [0] ₂	26,200	0.305	I
GFRP [0/90]	14,300	0.097	I
GFRP [0/75] _s	14,000	0.178	II
GFRP [± 25] _s	14,000	0.846	II
CFRP [0] ₄	62,250	0.356	II
CFRP [0/72] _s	33,400	0.179	II
CFRP [± 22] _s	35,100	1.470	II

Kesemua rasuk diuji di bawah beban empat titik, pada kadar purata pembebanan ialah 1.5 kN/min. Kesemua ujian dikawal perubahannya, dengan kadar 0.4 mm/min dan 0.3 mm/min untuk fasa pertama dan kedua. Kadar ujian adalah rendah untuk specimen fasa kedua kerana konkrit yang digunakan adalah lebih keras daripada yang digunakan dalam fasa pertama.

2.7.2.2 Keputusan Ujikaji

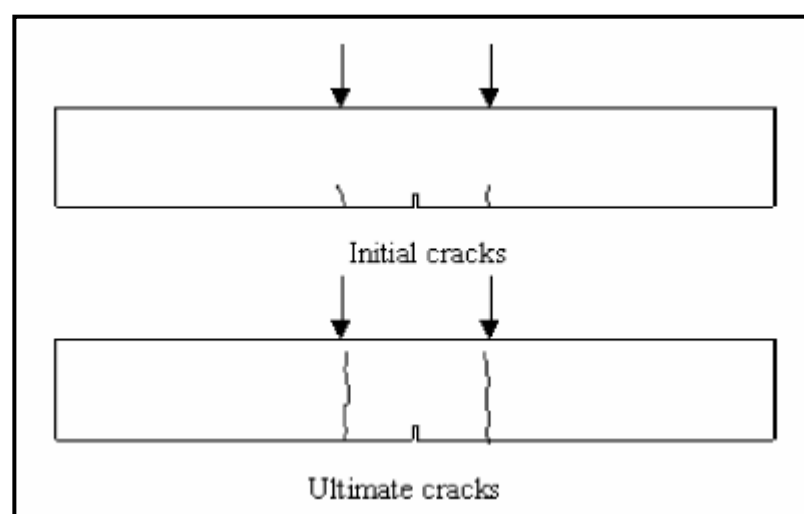
Rasuk siri A adalah rasuk bertetulang segiempat tanpa kepingan tetulang luaran, dan tanpa nod (pra-retak). Rasuk, bagaimanapun, mempunyai tetulang keluli lenturan dan riceh. Rasuk siri B ialah rasuk konkrit bertetulang segiempat tanpa kepingan tetulang luaran. Tidak seperti rasuk dalam siri A, rasuk dalam siri B mempunyai 2 mm nod pada permukaan tegangan di tengah rentangnya.

Tiga rasuk dalam siri A telah diuji. Seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.8, keputusan menunjukkan kelakuan elastik secara linear, sehingga keretakan pertama. Keretakan pertama berlaku pada beban sekitar 6.2 kN dan pesongan ialah 0.84 mm. Pengukuhan pada rasuk berkurangan selepas keretakan pertama, menghasilkan pesongan yang besar. Ini diikuti oleh kesan beban-pesongan yang tidak linear apabila peningkatan beban seterusnya dikenakan sehingga rasuk mengalami kegagalan.



Rajah 2.8: Purata beban lawan pesongan ditengah rentang pada rasuk dalam siri A dan siri B.

Keretakan lenturan menegak dan simetrik kepada permukaan tegangan kelihatan pada rasuk di bawah titik pembebanan, sebagaimana ditunjukkan dalam Rajah 2.9. Panjang keretakan meningkat apabila beban ditambah. Keretakan seterusnya menjadi tegak dan lebar sehingga rasuk gagal. Kegagalan rasuk dalam siri A diperhatikan pada beban sekitar 19.74 kN dengan pesongan 5.16 mm. Bentuk kegagalan rasuk dalam siri A adalah akibat keluli tegangan alah diikuti oleh kehancuran konkrit dalam zon mampatan.



Rajah 2.9 : Bentuk keretakan pada rasuk dalam siri A dan siri B.

Rasuk dalam siri B mempunyai kelakuan dan keretakan yang sama sebagaimana rasuk dalam siri A. Keretakan pertama kelihatan pada lokasi permukaan tegangan konkrit, di bawah titik pembebanan apabila beban mencapai 5.7 kN dengan pesongan 0.79 mm. Keretakan seterusnya sehingga rasuk gagal pada purata beban 19.4 kN. Purata pesongan 5.05 mm dicapai sebelum rasuk gagal. Rasuk dalam siri B kemudian dirujuk sebagai rasuk kawalan.

Dijelaskan bahawa nod sebagai pra-retak, namun di kedudukan tengah rasuk tidak menjelaskan bentuk keretakan pada rasuk (tiada keretakan disebabkan oleh nod). Kegagalan akhir rasuk dicapai melalui tetulang keluli alah, diikuti oleh kehancuran konkrit dalam mampatan.

Jadual 2.5 menunjukkan ringkasan keputusan ujikaji, yang mana termasuk purata beban pada keretakan pertama, purata beban muktamad, dan purata pesongan di tengah rentang pada keretakan pertama dan pada peringkat keretakan muktamad. Peringkat muktamad dikenalpasti sebagai peringkat pembebanan seterusnya di mana beban tambahan mungkin tidak ditahan.

Jadual 2.5 : Ringkasan kepada keputusan ujikaji.

Series (see Table 1 for details)	Average load at first crack (kN)	Average deflection at first crack (mm)	Average ultimate load (kN)	Increase in ultimate load (with reference to the control beams) (%)	Average maximum deflection (mm)
A	6.2	0.84	19.47	0.00	5.16
B	5.7	0.79	19.43	0.00	5.05
C1	11.3	1.37	28.50	46.69	4.75
C2	10	1.19	19.63	1.02	4.38
D1	9.2	1.08	23.08	18.77	3.39
D2	9.4	1.08	21.52	10.75	4.52
E1	10.3	1.30	28.49	46.63	6.15
E2	8.5	1.13	20.62	6.15	3.73
F	9.4	1.17	23.45	20.68	4.66

2.8. Kesimpulan Kajian Ujikaji

Daripada ujikaji pertama dan kedua, keputusan kajian ujikaji menjelaskan bahawa tampalan luaran kepingan CFRP boleh memberi kesan berguna kepada penguatan atau memperbaiki rasuk konkrit bertetulang. Peningkatan dalam kekuatan lenturan dicapai untuk kesemua rasuk terutamanya rasuk pra-retak.

Kedua fasa kajian dalam ujikaji kedua mengenalpasti beberapa parameter yang mungkin memberi kesan kepada keberkesanan rasuk konkrit bertetulang yang telah diperkuat. Dalam fasa pertama, kesan panjang kepingan FRP, gabungan gentian, dan penyediaan permukaan telah dikaji. Fasa kedua kajian pula, mengkaji keberkesanan kepingan GFRP dan CFRP memperkukuhkan tetulang konkrit.

Penggunaan kepingan CFRP dengan rentang yang pendek selepas perubahan nilai maksimum momen hujung terikat, menunjukkan tiada peningkatan dalam kekuatan atau kekukuhan kepada rasuk. Rasuk diperkuat dengan kepingan panjang tanpa penyediaan permukaan memberi keputusan sebagaimana kesan rasuk diperkuat dengan kepingan panjang beserta penyediaan permukaan, tetapi beban muktamad yang rendah dan pengukuhan yang rendah akan jelas kelihatan pada rasuk tanpa penyediaan permukaan.

Kedua kajian tersebut di atas tidak menjelaskan kegagalan rapuh yang perlu diambil perhatian pada tampalan kepingan FRP dan rasuk. Oleh itu, bahan, bentuk kegagalan dan pengetahuan teknikal penggunaan masih perlu dikaji bagi menjelaskan keberkesanan penggunaan CFRP terutamanya untuk menjelaskan kegagalan rapuh dan pembaikan rasuk pra retak.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Pendahuluan

Tujuan ujikaji yang akan dijalankan adalah untuk mencapai objektif yang telah ditetapkan dalam bab I. Kajian yang akan dijalankan tertumpu kepada ujian kekuatan lenturan rasuk konkrit bertetulang diperkuat dengan kepingan CFRP. Dua spesimen rasuk konkrit bertetulang berdimensi 150 mm lebar, 200 mm tinggi, dan 2200 mm panjang disediakan dan ditampal dengan kepingan CFRP pada permukaan bahagian bawah rasuk. Satu daripada spesimen rasuk tersebut adalah rasuk pra retak di mana rasuk tersebut dikenakan pra beban di tengah rentang untuk mendapatkan keretakan pada permukaan tegangan sebelum ditampal kepingan CFRP. Kedua-dua rasuk diletakkan dalam keadaan sokong mudah dan diuji melalui ujian beban empat titik. Semasa ujian dijalankan, pemerhatian ditumpukan kepada bentuk kegagalan rasuk, keretakan, pesongan dan kelakuan kepingan CFRP. Hasil ujikaji akan menggambarkan keupayaan kekuatan rasuk setelah diperkuat dengan kepingan CFRP.

3.2 Prosedur Ujikaji

Ujikaji akan dijalankan sepenuhnya di makmal Struktur dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan Awam. Penyediaan bahan dan peralatan akan dilakukan dengan bantuan pihak makmal beserta bimbingan penyelia projek.

Ujikaji yang akan dijalankan untuk mencapai objektif yang telah ditetapkan diringkaskan kepada beberapa langkah penyediaan dan pengujian rasuk seperti berikut:

- i. Merekabentuk komponen rasuk.
- ii. Merekabentuk dan menyediakan acuan rasuk.
- iii. Pemotongan dan pembentukan termasuk mengikat tetulang rasuk.
- iv. Penyediaan kiub *spacer*.
- v. Penyediaan bancuhan konkrit. Ujian runtuhan dilakukan untuk menentukan runtuhan 10 mm hingga 30 mm dan tahap keboleherjaan.
- vi. Sembilan kiub ujian mampatan disediakan untuk ujian pada 7 hari, 14 hari dan 28 hari.
- vii. Penempatan bancuhan konkrit ke dalam dua acuan rasuk konkrit bertetulang berdimensi 150 x 200 x 2200 mm dan pengawetan selama 7 hari.
- viii. Rasuk pertama dikenakan beban empat titik pada hari ke 21 bagi mendapatkan rasuk pra-retak.
- ix. Penyediaan permukaan tampalan dibuat kepada kedua-dua rasuk dengan alat air tool. Epoksi dicampur dengan *hardener* dan disapu pada permukaan konkrit yang telah dikasarkan dan permukaan kepingan CFRP yang akan ditampal.
- x. Tampalan dibiarkan selama 7 hari bagi memastikan kekuatan yang tinggi pada bahagian tampalan.
- xi. Selepas 7 hari, ujian pembebanan empat titik dijalankan. Bacaan nilai pesongan tengah rentang, nilai beban muktamad dan bentuk keretakan dicatat.
- xii. Analisis data

3.3 Rekabentuk Komponen Rasuk

3.3.1 Rekabentuk rasuk

Dalam ujikaji ini, dua rasuk direkabentuk dan disediakan mengikut *British Standard, Structural Use of Concrete* (BS 8110). Dimensi spesimen rasuk yang

dipilih ialah 150 x 200 x 2200 mm. Pemilihan dimensi rasuk adalah mengambilkira penggunaan alat di makmal struktur, kuantiti bahan, ruang kerja yang agak terhad, panjang kepingan CFRP yang dapat dibekalkan dan tempoh masa ujikaji yang terhad.

Ujian lenturan rasuk dijalankan menggunakan kerangka *Magnus* yang mampu menguji rasuk sehingga 4000 mm panjang. Panjang efektif rasuk yang direkabentuk ialah 2000 mm manakala jarak 100 mm pada kedua-dua hujung rasuk adalah untuk memberi ruang untuk penyokong rasuk.

Kesemua tetulang dan perangkai dipotong dan dibengkokkan mengikut spesifikasi dengan menggunakan pemotongan elektrik dan manual. Perangkai diikat menggunakan dawai besi mengikut jarak antara perangkai yang ditetapkan.

Rekabentuk tetulang untuk rasuk konkrit adalah berdasarkan *BS 8110 Part 1: 1985*. Untuk tujuan rekabentuk, tegasan alah tetulang alah tinggi ialah 480 N/mm^2 digunakan dan 250 N/mm^2 tetulang sederhana, dan gred konkrit ialah 30 N/mm^2 . Tetulang alah tinggi berdiameter 16 mm (T16) digunakan untuk menghasilkan rasuk tetulang kurang (*under reinforced*). Penutup konkrit yang digunakan ialah 20 mm. Tetulang mampatan berdiameter 6 mm dan tetulang riceh keluli sederhana berdiameter 8 mm (R8) telah diikat kepada tetulang pada selang 100 mm di sepanjang rasuk bagi mengelakkan berlaku kegagalan riceh rasuk.

Perincian rekabentuk rasuk adalah seperti ditunjukkan di bawah:

Ciri-ciri rasuk

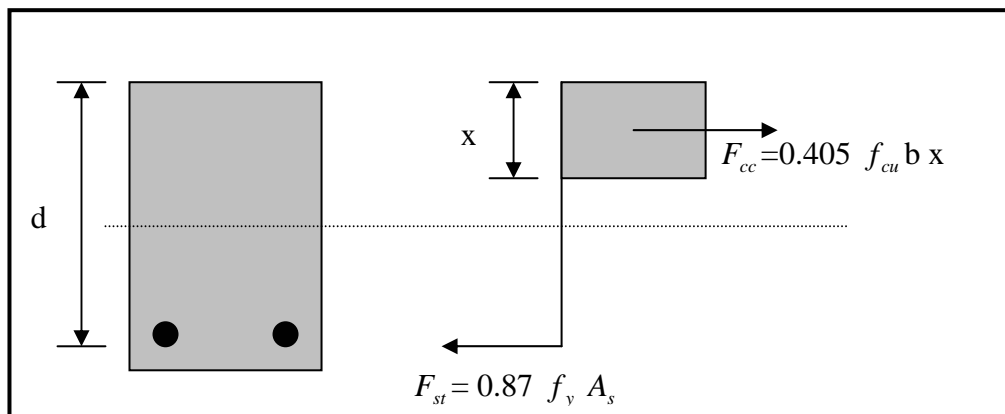
Lebar, b	= 150 mm
Tinggi, h	= 200 mm
Panjang, L	= 2000 mm
Kekuatan ciri konkrit, f_{cu}	= 30 N/mm^2
Kekuatan ciri keluli, f_y	= 460 N/mm^2
Kekuatan ciri keluli perangkai, f_{yv}	= 250 N/mm^2

Diameter tetulang utama	= 16 mm
Diameter tetulang perangkai	= 8 mm
Tebal penutup, c	= 20 mm

Rekabentuk

Tetulang utama

$$\begin{aligned}
 \text{Ukurdalam berkesan, } d &= h - c - 0.5 \phi_{bar} - \phi_{link} \\
 &= 200 - 20 - 0.5 (16) - 8 \\
 &= 164 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Rajah 3.1: Keseimbangan daya

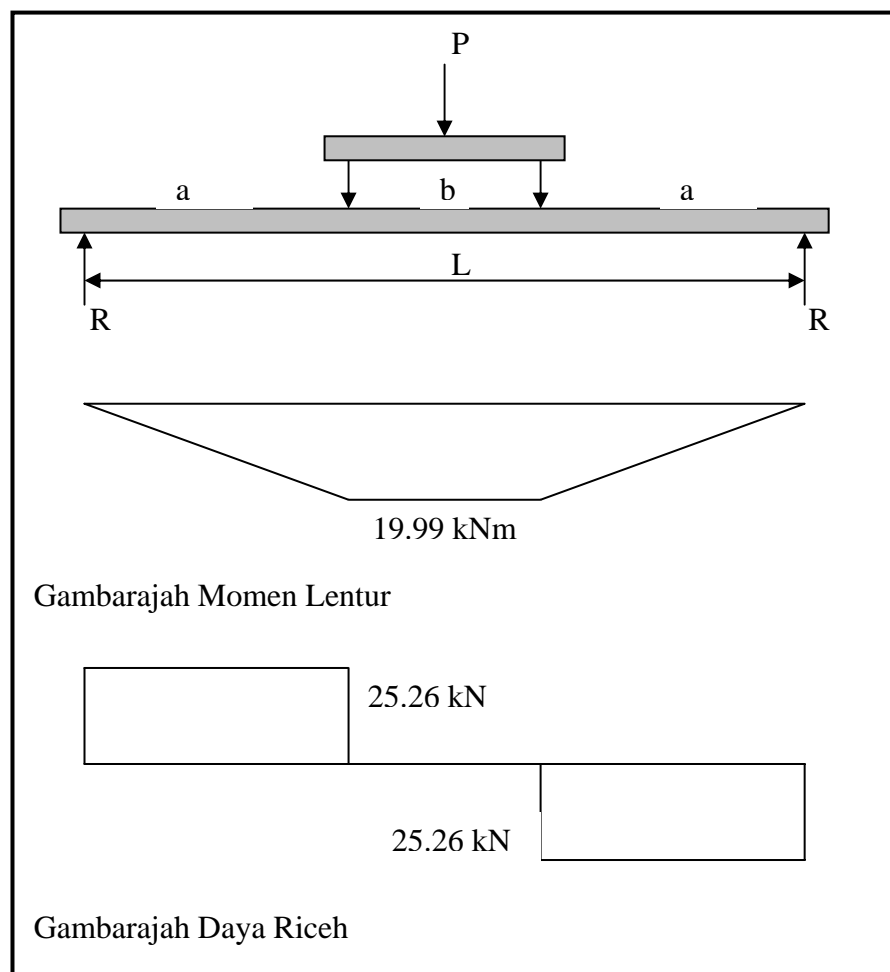
Dari rajah 3.1, keseimbangan daya-daya

$$\begin{aligned}
 F_{st} &= F_{cc} \\
 0.87 f_y A_s &= 0.405 f_{cu} b x \\
 0.87 (460) (402) &= 0.402 (30) (150) x \\
 x &= \frac{0.87(460)(402)}{0.402(30)(150)} \\
 &= 88.27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{semak } \frac{x}{d} &= \frac{88.27}{164} \\ &= 0.54 < 0.64 \end{aligned}$$

keratan yang direka adalah berada dalam keratan tetulang kurang (*under reinforced*). Luas tetulang keluli yang disediakan agak kecil berbanding luas keratan konkrit. Pada keadaan ini keluli akan mencapai takat alah terlebih dahulu sebelum konkrit mencapai kekuatan atau terikan maksimum. Kegagalan berlaku disebabkan gagalnya keluli dalam tegangan.

$$\begin{aligned} \text{Momen ringtangan keratan, } M &= 0.87 f_y A_s (d - 0.45(88.27)) \\ &= 0.87(460)(402)(164 - 0.45(88.27)) \\ &= 19.99 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Rajah 3.2: Analisis beban, gambarajah momen lentur dan gambarajah daya riceh.

Panjang rentang berkesan rasuk, $L = 2000 \text{ mm}$

Di mana, $a = 800 \text{ mm}$

$b = 400 \text{ mm}$

Pengiraan untuk mendapatkan daya riceh maksimum, V_{\max}

Berat konkrit $= 24 \text{ kN/m}^3$

Momen lentur maksimum $= 19.99 \text{ kNm}$

Momen lentur berlaku di tengah rentang, maka pertimbangan adalah berat setengah rasuk yang disebabkan oleh konkrit.

Berat setengah rasuk $= 0.5 \times 24 \times 0.20 \times 0.150 \times 2$
 $= 0.72 \text{ kN}$

Anggap berat ini adalah seumpama suatu beban titik yang bertindak 500 mm dari tengah rentang.

Untuk momen lentur maksimum,

$$\begin{aligned} 19.99 &= 1.0 R - 0.5 (0.72) - 0.2 P \\ R - 0.2 P &= 20.35 \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

Untuk keseimbangan,

$$R - P = 0.72 \dots\dots\dots(2)$$

(1) – (2)

$$\begin{aligned} 0.8 P &= 19.63 \\ P &= 24.54 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari persamaan (2)

$$R = 25.26 \text{ kN}$$

\therefore Daya riceh maksimum, $V_{\max} = 25.26 \text{ kN}$

Perangkai riceh

$$\begin{aligned}
 \text{Tegasan riceh, } v &= \frac{V_{\max}}{bd} \\
 &= \frac{25.26 \times 10^3}{150 \times 164} \\
 &= 1.03 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$v < 0.8\sqrt{f_{cu}} \quad (= 4.38 \text{ N/mm}^2) \quad \therefore \text{saiz rasuk memuaskan}$$

$$\frac{100A_s}{bd} = \frac{100(402)}{150 \times 164} = 1.63$$

$$\frac{400}{d} = \frac{400}{164} = 2.44$$

$$\begin{aligned}
 v_c &= \frac{0.79}{1.29} \left(\frac{100A_s}{bd} \right)^{1/3} \left(\frac{400}{d} \right)^{1/4} \left(\frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3} \\
 &= \frac{0.79}{1.29} (1.63)^{1/3} (2.44)^{1/4} \left(\frac{30}{25} \right)^{1/3} \\
 &= 0.96 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$v_c + 0.4 = 1.36 \text{ N/mm}^2$$

$$0.5 v_c < v < 0.8\sqrt{f_{cu}} \quad \therefore \text{perangkai riceh minimum}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sv}}{s_v} &= \frac{0.4b}{0.87 f_{yv}} \\
 &= \frac{0.4 \times 150}{0.87 \times 250} \\
 &= 0.276
 \end{aligned}$$

$$\text{Gunakan R8, } A_{sv} = \frac{2 \times \pi(8)}{4} = 101 \text{ mm}^2$$

$$\therefore s_v = \frac{101}{0.276} = 366 \text{ mm} > 0.75d (= 123 \text{ mm})$$

\therefore Gunakan perangkai : R8 – 100

Semakan

a) Pesongan

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{19.99 \times 10^6}{150 \times 164^2} = 4.95 \text{ N/mm}^2$$

$$f_s = \frac{5}{8} f_y \frac{A_{s_{req}}}{A_{s_{prov}}} = 287.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{f.u.t.t} = 0.55 + \frac{477 - f_s}{120 \left(0.9 + \frac{M}{bd^2} \right)}$$

$$= 0.55 + \frac{477 - 287.5}{120(0.9 + 4.95)}$$

$$= 0.82$$

$$\left(\frac{L}{d} \right)_{asas} = 20$$

$$\left(\frac{L}{d} \right)_{izin} = 20 \times 0.82 = 16.4$$

$$\left(\frac{L}{d} \right)_{sebenar} = \frac{2000}{164} = 12.2 < \left(\frac{L}{d} \right)_{izin}$$

\therefore memuaskan

b) Keretakan

Jarak bersih antara tetulang tegangan,

$$\begin{aligned}
 S_1 &= (b - 2c - 2\phi_{link} - 2\phi_{bar}) \\
 &= (150 - 2(20) - 2(8) - 2(16)) \\
 &= 62 \text{ mm} < 160 \text{ mm} \quad \therefore \text{memuaskan}
 \end{aligned}$$

Jarak bersih antara pepenjuru

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \sqrt{2(c + \phi_{link} + 0.5\phi_{bar})^2} - 0.5\phi_{bar} \\
 &= \sqrt{2(20 + 8 + 0.5(16))^2} - 0.5(16) \\
 &= 43 \text{ mm} < 80 \text{ mm} \quad \therefore \text{memuaskan}
 \end{aligned}$$

3.3.2 Rekabentuk Bancuhan Konkrit

Kekuatan konkrit yang digunakan dalam kajian ini adalah konkrit gred 30 pada umur 28 hari. Rekabentuk campuran konkrit adalah berpandukan kepada rekabentuk “*Design of Normal Concrete Mixes*” yang disarankan oleh pihak *Department of Environment, British* [11]. Rekabentuk bancuhan konkrit ini adalah bertujuan bagi menghasilkan satu campuran yang sesuai serta mencapai objektif, iaitu campuran yang dapat menghasilkan konkrit yang sesuai sifat kebolehkeraan, kekuatan dan juga kelasakan.

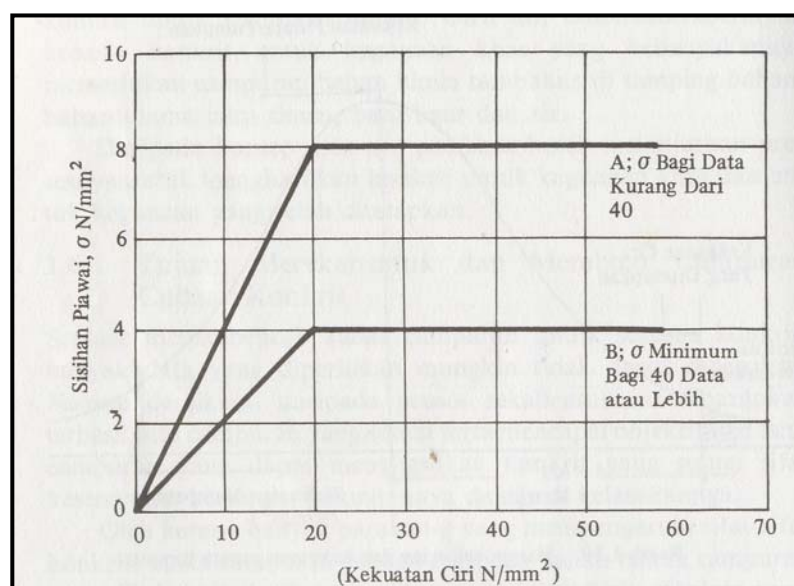
3.3.2.1 Peringkat 1 : Penentuan Nisbah Air – Simen

Jangkaan awal untuk nisbah boleh dibuat setelah dua nilai asas dikirakan. Pertama, nilai margin seperti dalam persamaan 1

$$M = K \times S \dots\dots\dots (1)$$

Di mana, M = Margin (jidar)
 K = angkatap yang ditentukan dari statistik dan bergantung kepada peratus kerosakkan, $K = 1.64$ bagi 5 % kadar kerosakan.
 S = Sisihan piawai

Nilai S ialah 8 N/mm^2 merujuk kepada penggunaan garis A dalam Rajah 3.3 kerana jumlah data kurang dari 40 data.



Rajah 3.3: Hubungan di antara sisihan piawai dan kekuatan ciri.

$$\begin{aligned} \text{Maka, } M &= 1.64 \times 8 \\ &= 13.12 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Kedua, pengiraan nilai purata kekuatan tumpuan (dinyatakan dalam dua angka bulat) seperti dalam persamaan 2.

$$f_m = f_c + M \dots\dots\dots(2)$$

Di mana, f_m = kekuatan purata tumpuan
 f_c = kekuatan ciri yang ditetapkan
M = nilai margin

$$\begin{aligned}\text{Maka, } f_m &= 30 \text{ N/mm}^2 + 13.12 \text{ N/mm}^2 \\ &= 43.12 \text{ N/mm}^2 \\ &= 43 \text{ N/mm}^2 \text{ (dinyatakan dalam dua angka bulat)}\end{aligned}$$

Seterusnya nilai anggaran kekuatan mampatan iaitu 36 N/mm^2 pada umur 7 hari bagi campuran konkrit dibuat dari nisbah air (bebas)/simen bersamaan 0.5 ditentukan dari Jadual 3.1. Dari Rajah 3.6, nilai nisbah air (bebas)/simen ialah 0.43. Maka nilai nisbah air (bebas)/simen yang digunakan dalam rekabentuk konkrit ini ialah 0.43 iaitu nilai yang terendah antara 0.43 dan 0.5.

Jadual 3.1: Anggaran (approximate) kekuatan mampatan (N/mm^2) campuran konkrit yang dibuat dari nisbah air (bebas) – simen 0.5

Jenis Simen	Jenis Batu	Kekuatan Mampatan (N/mm^2) Umur Hari			
		3	7	28	91
Simen PortLand Biasa	- Tak Dikisar	22	30	42	49
	- Dikisar	27	36	49	56
Simen Portland Cepat Mengeras	- Tak Dikisar	29	37	48	54
	- Dikisar	34	43	55	61

3.3.2.2 Peringkat 2 : Penentuan Jumlah Kandungan Air Bebas

Kuantiti air (bebas) boleh berubah-ubah, bergantung kepada jenis dan saiz maksimum batu baur serta keboleherjaan yang ditetapkan. Kuantiti air, secara kasar, setelah diambil kira faktor-faktor tersebut adalah seperti yang diberikan dalam Jadual 3.1 dan persamaan 3 di bawah;

$$\text{Kandungan Air Bebas} = \frac{2}{3} W_r + \frac{1}{3} W_c \dots\dots\dots(3)$$

Di mana, W_r = kandungan air bebas untuk pasir berkenaan

W_c = kandungan air bebas untuk batu berkenaan

$$\begin{aligned} \text{Maka, kandungan Air Bebas} &= \frac{2}{3} (180) + \frac{1}{3} (205) \\ &= 188.33 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

3.3.2.3 Peringkat 3 : Pengiraan Kandungan Simen

Persamaan 4 digunakan untuk pengiraan kandungan simen di dalam campuran, iaitu;

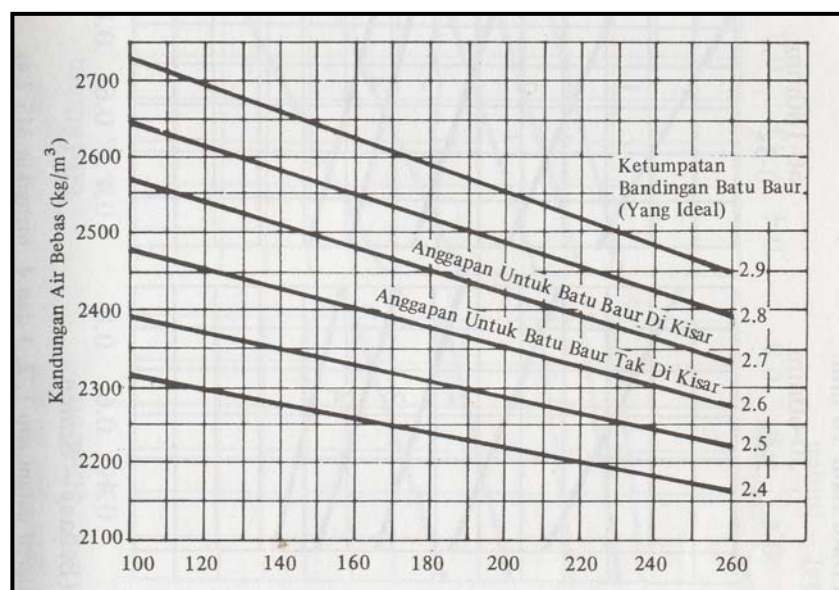
$$\text{Kandungan simen} = \frac{\text{Kandungan Air Bebas}}{\text{Nisbah Air (bebas) / simen}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, kandungan simen} &= \frac{188.33}{0.43} \\ &= 437.98 \\ &= 438 \text{ kg/m}^3 \text{ (dinyatakan dalam dua angka bulat)} \end{aligned}$$

Nilai nisbah air (bebas)/simen dan kandungan simen yang diperolehi di atas boleh menghasilkan kekuatan puratanya atau kebolehkkerjaan yang lebih tinggi. Jika pertimbangan tidak diberikan, kekuatan dan kebolehkkerjaan mungkin tidak dapat diperolehi serentak dan mungkin menyebabkan penyelesaian dibuat dengan menukar jenis simen, menukar saiz maksimum batu baur atau menukar tahap kebolehkkerjaan atau dengan menggunakan bahan tambah pengurangan air.

3.3.2.4 Peringkat 4 : Penentuan Jumlah Kandungan Batu Baur

Pada peringkat ini, nilai ketumpatan konkrit basah yang dipadatkan ditentukan. Merujuk kepada Rajah 3.4, nilai ketumpatan ini ialah 2430 kg/m^3 berdasarkan kepada kandungan air bebas di dalamnya dan ketumpatan bandingan batu baur. Nilai ketumpatan bandingan batu baur dianggap sebagai 2.7 kerana batu baur dikisar digunakan dalam ujikaji ini.



Rajah 3.4 : Anggaran Ketumpatan Basah Bagi Konkrit Padat

Oleh itu, kuantiti batu baur dikira dari persamaan 5 berikut;

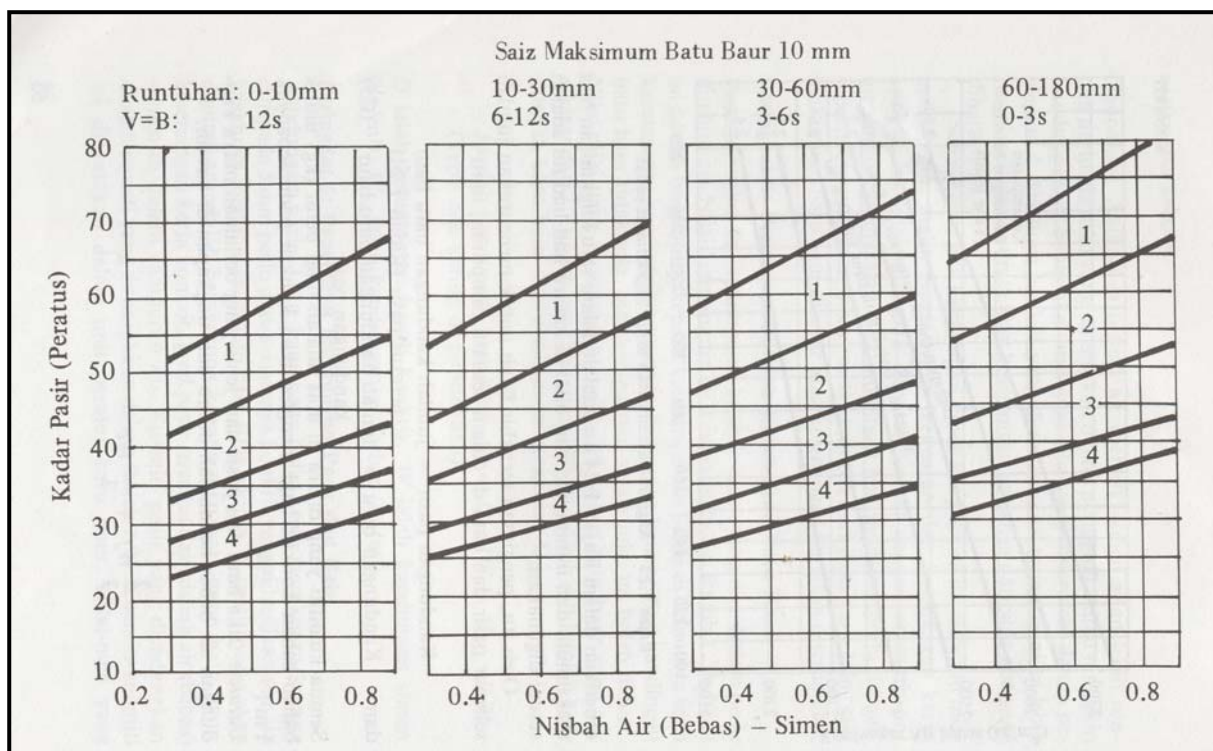
$$\text{Kuantiti batu baur} = D - W_s - W_a \dots\dots\dots(5)$$

Di mana, D = Ketumpatan basah konkrit
 W_s = Kandungan simen (kg/m^3)
 W_a = Kandungan air bebas (kg/m^3)

$$\begin{aligned} \text{Maka, kuantiti batu baur} &= 2430 - 438 - 188 \\ &= 1804 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

3.3.2.5 Peringkat 5 : Penetapan Kandungan Pasir dan Batu

Dengan menggunakan Rajah 3.5, peratus pasir yang digunakan ialah 65 % bergantung kepada saiz maksimum batu baur, tahap kebolehkkerjaan, gred pasir dan nisbah air (bebas)/simen di dalam campuran.



Rajah 3.5: Kadar batu baur halus yang disyorkan mengikut Peratus lulus ayak 600 μm

Oleh itu, pengiraan terakhir ialah kuantiti pasir dan batu yang akan digunakan dalam campuran iaitu;

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan pasir} &= \text{Kuantiti kandungan batu baur} \times \text{Peratus pasir} \\
 &= 1804 \times 36 \% \\
 &= 649.4 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan batu} &= \text{Kuantiti kandungan batu baur} - \text{Kandungan pasir} \\
 &= 1804 - 649.4 \\
 &= 1154.6 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Beberapa parameter telah ditetapkan bagi memudahkan pengiraan semasa membuat rekabentuk bancuhan. Kekuatan ciri yang diperlukan ialah 30 N/mm² pada umur 28 hari.

$$\begin{aligned}
 \text{Saiz acuan/spesimen} &= 150 \times 200 \times 2200 \text{ mm} \\
 &= 0.066 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Saiz kiub ujian mampatan} &= 100 \times 100 \times 100 \text{ mm} \\
 &= 0.001 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk 3 spesimen} &= 3 \times 0.066 \text{ m}^3 \\
 &= 0.198 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk 9 kiub ujian} &= 9 \times 0.001 \text{ m}^3 \\
 &= 0.009 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

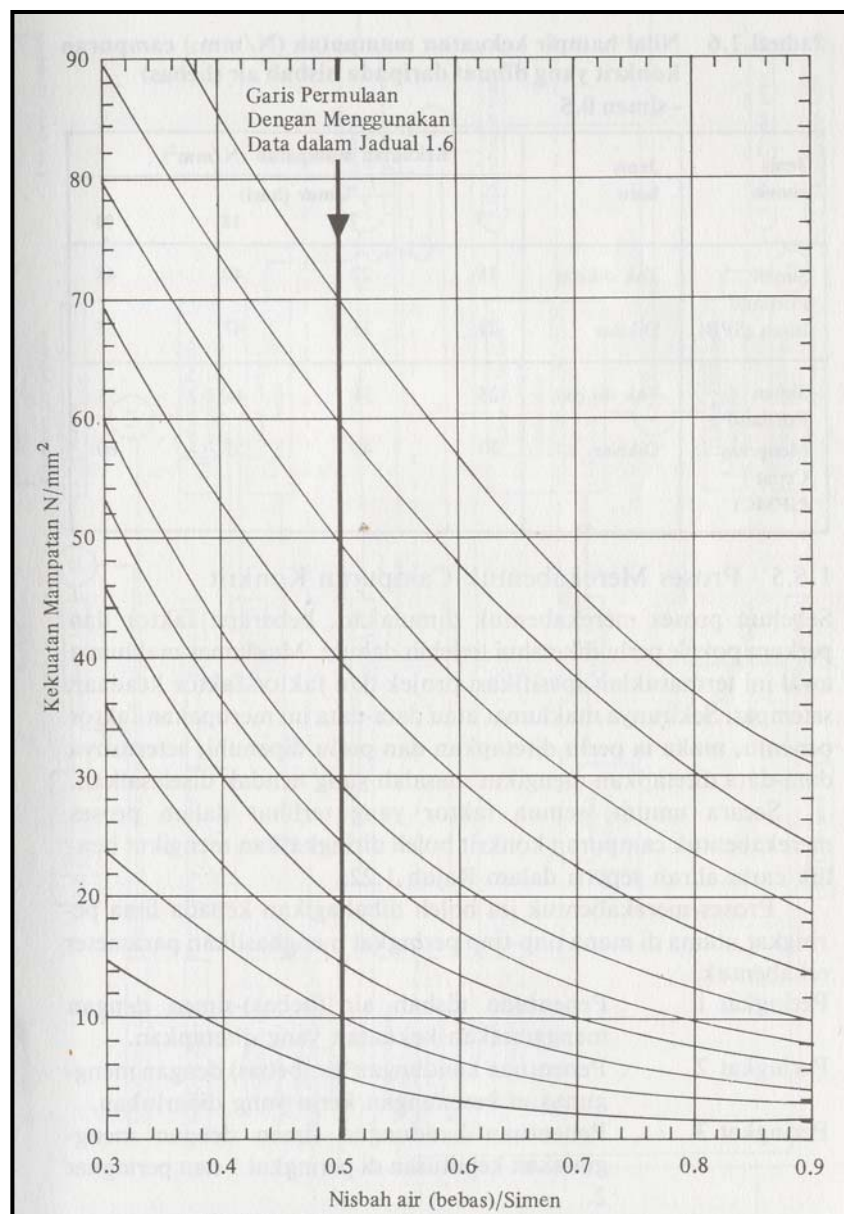
$$\begin{aligned}
 \text{Isipadu bancuhan konkrit} &= 0.198 + 0.009 + 0.0207 \\
 &= 0.2277 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bancuhan yang dibuat adalah sebanyak 0.2277 m³ iaitu dicampur dengan 10 % lebihan.

Pasir	=	0.2277 x 649.4	= 147.87 kg
Batu	=	0.2277 x 1154.4	= 262.86 kg
Simen	=	0.2277 x 438	= 99.73 kg
Air	=	0.2277 x 438 x 0.43	= 42.89 kg

3.4 Penyediaan Bahan

Sebelum penyediaan rasuk, bahan-bahan yang akan digunakan disediakan terlebih dahulu mengikut kuantiti yang dikehendaki seperti acuan, tetulang, *spacer*, bahan bancuhan konkrit dan peralatan ujian mampatan konkrit dan pemasangan kepingan CFRP.



Rajah 3.6 : Hubungan di antara kekuatan mampatan dan nisbah air (bebas)/simen

Jadual 3.2: Kiraan rekabentuk bancuhan yang dibuat adalah berdasarkan data-data seperti berikut:

Peringkat	Butir-butir Perkara	Rujukan atau Kiraan	Nilai
1	1.1. Kekuatan Ciri 1.2. Sisihan Piawai 1.3. Margin 1.4. Target Purata Kekuatan 1.5. Jenis Simen 1.6. Jenis Batu Baur: Batu Baur Kasar Batu Baur Halus 1.7. Nisbah air (bebas)/Simen 1.8. Nisbah Maksimum Air (bebas)/Simen	Ditentukan Rajah 2 Persamaan 1 Persamaan 2 Ditentukan Jadual 2 Rajah 3 Ditentukan	30 N/mm^2 , <u>28</u> hari Kadar kerosakan <u>5</u> Peratus $S = 8 \text{ N/mm}^2$ $M = 13.12 \text{ N/mm}^2$ $f_m = 43 \text{ N/mm}^2$ Simen Portland Biasa Dikisar Tidak dikisar <u>0.43</u> <u>0.5</u>
2	2.1. Runtuhan/V-b 2.2. Saiz Maksimum Batu Baur 2.3. Kandungan Air Bebas	Ditentukan Ditentukan Jadual 3	Runtuhan <u>10-30</u> mm/V-t <u>6-12</u> saat <u>10</u> mm <u>188.3</u> kg/m ³
3	3.1. Kandungan Simen	Persamaan 4	<u>438</u> kg/m ³
4	1.1. Ketumpatan Bandingan Batu Baur Kasar 1.2. Ketumpatan Konkrit 1.3. Jumlah Batu Baur	Rajah 3 Persamaan 5	Anggaran <u>2.7</u> <u>2430</u> kg/m ³ <u>1804</u> kg/m ³
5	5.1. Gred Batu Baur Halus 5.2. Kadar Batu Baur Halus Dalam Kuantiti Batu Baur 5.3. Kandungan Batu Baur Halus 5.4. Kandungan Batu Baur Kasar	Peratus lulus ayak 600 um Rajah 4	64 % 34 % <u>649.4</u> kg/m ³ <u>1154.4</u> kg/m ³

3.4.1 Penyediaan Acuan Rasuk

Dua acuan yang diperbuat dari papan lapis setebal 20 mm seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.7 berukuran 150 x 200 x 2200 mm disediakan untuk menghasilkan rasuk yang dikehendaki. Acuan keluli digunakan disekeliling acuan papan lapis bagi mengukuhkan seluruh acuan dan sebagai tapak acuan. Acuan keluli juga akan bertindak sebagai penahan acuan papan lapis supaya tiada ubah bentuk berlaku.



Rajah 3.7 : Tetulang yang telah siap diletakkan dalam acuan kayu dan diperkukuhkan dengan acuan besi

Permukaan acuan perlu disapu minyak bagi mengelakkan bancuhan konkrit melekat pada acuan yang boleh mencacatkan permukaan rasuk disamping

menyenangkan kerja-kerja membuka acuan kelak. Bagi menghalang berlaku lelehan konkrit dari acuan, setiap pepenjur acuan ditampal dengan kertas pelekat.

3.4.2 Penyediaan Tetulang Rasuk

Tetulang keluli berdiameter 16 mm dipotong menggunakan alat pemotong elektrik mengikut ukuran yang ditetapkan seperti perincian di bawah dan dibengkokkan menggunakan mesin pembengkok elektrik. Tetulang perangkai juga diperincikan di bawah, diukur dan dipotong secara manual. Perangkai diikat pada tetulang utama dengan menggunakan dawai mengikut spesifikasi rekabentuk.

$$\begin{aligned}\text{Panjang tetulang utama} &= L + n \\ &= 2000 + (9 \times 16) \\ &= 2144 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Di mana } L &= \text{pabjang berkesan rasuk} \\ n &= 9 \times \phi_{bar}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang perangkai R8 – 100} &= 2(b + h) - 8c + x \\ &= 2(150 + 200) - 8(20) + 24(6) \\ &= 684 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Di mana } b &= \text{lebar rasuk} \\ h &= \text{tinggi rasuk} \\ c &= \text{penutup konkrit} \\ x &= 24 \times \phi_{link}\end{aligned}$$

Tetulang kemudiannya dimasukkan ke dalam acuan dan diletakkan blok mortar (spacer) antara tetulang dan dinding acuan berketebalan 20 mm untuk menyediakan tebal penutup konkrit.

3.4.3 Penyediaan Bancuhan Konkrit

Bahan bancuhan konkrit yang akan digunakan disediakan mengikut kuantiti yang telah ditetapkan dalam rekabentuk bancuhan konkrit. Batu baur halus (pasir) diayak, manakala batu baur kasar (batu) dibersihkan dikumpul dan dihamparkan setebal 100 mm seperti Rajah 3.8 dan Rajah 3.9 dan dibiarkan kering di bawah pancaran matahari selama 3 hari. Berikut adalah langkah-langkah bancuhan konkrit dilakukan:

- a) Batu baur halus, batu baur kasar, simen dan air ditimbang mengikut rekabentuk bancuhan.
- b) Permukaan *drum* mesin pembancuh (*mixer*) dibersihkan dan dibasahkan supaya bancuhan lebih mudah dilakukan.
- c) Satu per tiga bahagian air dimasukkan ke dalam mesin.
- d) Kesemua batu baur kasar diikuti dengan pasir dimasukkan dan digaul seketika hingga bercampur dengan sempurna.
- e) Kesemua simen dimasukkan dan digaul hingga bercampur dengan sempurna.
- f) Baki air dimasukkan ke dalam mesin bancuhan secara perlahan-lahan.
- g) Ujian runtuh kon dilakukan untuk menilai kebolehkerjaan bancuhan konkrit.

Konkrit yang telah mencapai had runtuh kon yang telah ditetapkan dimasukkan ke dalam acuan serta merta. Konkrit yang telah dimasukkan ke dalam acuan dipadatkan dengan alat pengetar (*poker vibrator*) bagi memastikan tiada liang udara terperangkap di dalam konkrit seterusnya mengelakkan terbentuk *honey combing* pada konkrit. Rasuk kemudian perlu diawet menggunakan guni basah selama 3 hari. Selepas tempoh 3 hari acuan dibuka dan rasuk diawet sehingga 28 hari. Langkah ini adalah supaya proses penghidratan simen berjalan dengan sempurna dan mengekalkan kandungan lembapan.

Sembilan kiub berukuran 100 x 100 x 100 mm disediakan bagi bancuhan ini. Acuan bagi kiub ujian mampatan konkrit dibiarkan selama sehari sebelum dibuka dan diawet dalam rendaman air sehingga masa ujian kekuatan mampatan dilakukan.



Rajah 3.8: Batu dibersihkan, dikumpul, dihampar 100 mm tebal dan dijemur selama 3 hari.



Rajah 3.9 : Pasir yang telah diayak, dikumpul dan dijemur selama 3 hari sebelum digunakan.

3.5 Ujian Terhadap Konkrit

Semasa kerja pengkonkritan sedang dijalankan, contoh-contoh konkrit hendaklah diambil untuk dibuat ujian pemeriksaan kebolehkeraan dan kekuatannya. Dalam kajian ini, dua ujian dilakukan untuk menentukan kebolehkeraan dan kekuatan iaitu ujian runtuh kon dan ujian mampatan konkrit.

3.5.1 Ujian Runtuhan Kon

Kebolehkeraan hendaklah ditentukan untuk kelompok pertama konkrit dengan kuantiti bahan-bahannya ditentukan dengan tepat dan keputusan dicatatkan, dan hendaklah sesuai dengan darjah kebolehkeraan yang dikehendaki iaitu runtuh di antara 10 mm hingga 30 mm.

Alat digunakan terdiri daripada kon keluli dengan ketinggian 300 mm, mempunyai bukaan atas bergaris pusat 100 mm dan bukaan bawah bergaris pusat 200 mm. Bancuhan dimasukkan dalam tiga lapisan dan setiap lapisan dikenakan jatuhkan rod sebanyak 25 kali.

3.5.2 Ujian Kiub Mampatan Konkrit

Sembilan contoh kiub konkrit diambil daripada bancuhan konkrit untuk mendapatkan nilai-nilai kekuatan tiap-tiap kiub konkrit dan dibandingkan dengan nilai kekuatan yang dikehendaki. Ujian ini dilakukan untuk mendapatkan kekuatan ciri yang terhasil pada konkrit.

Sebanyak sembilan contoh kiub berukuran 100 x 100 x 100 mm disediakan. Bancuhan konkrit dimasukkan ke dalam kiub dalam dua lapisan dan setiap lapisan dikenakan jatuhkan batang keluli sebanyak 35 hentakan.

Ujian konkrit hendaklah dibuat pada umur konkrit 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Tujuan ujian ini dilakukan untuk konkrit 7 hari dan 14 hari ialah untuk meramalkan

sama ada kekuatan yang dikehendaki pada 28 hari boleh dicapai atau sebaliknya. Rajah 3.10 menunjukkan kiub konkrit yang telah melalui ujian mampatan konkrit.



Rajah 3.10 : Kiub konkrit yang telah melalui ujian kekuatan mampatan konkrit.

3.6 Penampalan Kepingan CFRP

Rasuk yang telah diawet dengan sempurna perlu melalui proses penyediaan permukaan, penampalan kepingan CFRP dan ujian kekuatan lenturan rasuk bagi kekuatan lenturan rasuk yang diperkuat dengan kepingan CFRP.

3.6.1 Rasuk Pra Retak

Dua batang rasuk konkrit bertetulang seperti rekabentuk sebelum ini disediakan. Rasuk pertama adalah rasuk yang akan ditampal kepingan CFRP pada permukaan bawah rasuk tanpa keretakan dan rasuk kedua akan dikenakan beban sebanyak 53 kN bersamaan dua pertiga daripada nilai beban muktamad untuk membenarkan keretakan permukaan rasuk sebagai rasuk pra-retak sebelum ditampal kepingan CFRP.

Semasa peningkatan beban dikenakan ke atas rasuk pra-retak, keretakan ditandakan, dan nilai beban dan pesongan tengah rentang dicatat bagi setiap keretakan. Setelah nilai beban mencapai 53 kN, nilai pesongan tengah rentang diambil, dan beban dilepaskan perlahan-lahan. Setelah beban dilepaskan sepenuhnya, nilai pesongan tengah rentang dicatatkan semula. Rajah 3.11 menunjukkan rasuk pra-retak setelah beban dilepaskan sepenuhnya. Graf beban melawan pesongan diplot untuk memastikan tetulang belum mencapai keadaan alah.



Rajah 3.11: Rasuk A (pra-keretakan) setelah pembebanan dilepaskan sepenuhnya.

3.6.2 Penyediaan Permukaan

Permukaan yang akan ditampal dengan kepingan CFRP dikasarkan terlebih dahulu bagi memastikan lekatan di antara permukaan rasuk dan kepingan CFRP yang kukuh. Permukaan kedua-dua rasuk (tanpa pra-retak dan pra-retak) yang akan ditampal kepingan CFRP dikasarkan sehingga permukaan batu baur kasar dengan

menggunakan *air tool hammer*. Setelah permukaan dikasarkan dengan sempurna, permukaan dibersihkan dari sebarang kotoran dan debu. Rajah 3.12 menunjukkan permukaan rasuk yang telah dikasarkan dengan sempurna dan sedia untuk penampalan kepingan CFRP.



Rajah 3.12: Permukaan rasuk yang telah dikasarkan menggunakan air tool.

3.6.3 Penampalan Kepingan CFRP

Bahan pelekatan yang digunakan adalah *Sikadur-30 Normal adhesive* (Rajah 3.16) yang terdiri daripada dua komponen, iaitu komponen A (epoksi) dan komponen B (*hardener*). Kedua-dua komponen dicampurkan dengan nisbah 3:1 sehingga sebatu.

Kepingan CFRP yang digunakan ialah *Unidirectional Sika-CarboDur CFRP Pultruded Plate Type S512* berukuran 50 mm lebar dan 1.2 mm tebal. Kepingan sepanjang 1900 mm disediakan, iaitu pemotongan mengikut panjang rentang berkesan rasuk yang akan diperkuat dengan kepingan CFRP ditolak 50 mm setiap hujung bagi menyediakan ruang untuk penyokong.

Ciri-ciri mekanikal kepingan CFRP dan bahan pelekat seperti mana dibekalkan oleh pengeluar adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 3.3 dan Jadual 3.4.

Jadual 3.3: Ciri-ciri *Sika® CarboDur® CFRP Pultruded Plate type S512*

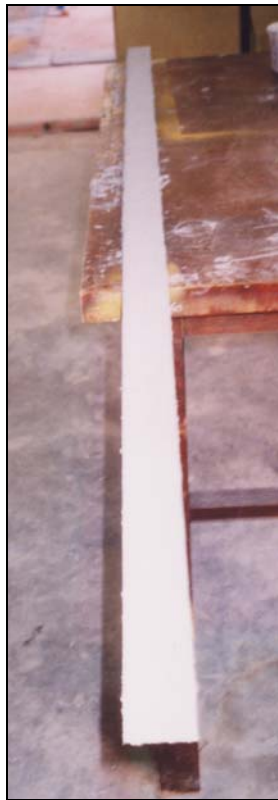
Kekuatan tegangan muktamad (N/mm ²)	Modulus tegangan (N/mm ²)	Lebar plat (mm)	Tebal plat (mm)
2800	16500	50	1.2

Jadual 3.4: Ciri-ciri mekanikal *Sikadur®-30 adhesive*

Kekuatan mampatan (N/mm ²)	Kekuatan tegangan (N/mm ²)	Kekuatan riceh (N/mm ²)	Kekuatan lekatan pada konkrit (N/mm ²)	E-modulus (N/mm ²)
80	28	18	> 2	12800

Bahan pelekat dicampurkan dengan nisbah 3:1 sehingga sebati (warna campuran yang seragam. Campuran bahan pelekat yang telah digaul dilepa ke permukaan rasuk yang telah disediakan dan permukaan kepingan CFRP setebal sehingga 2 mm. Ketebalan seragam lapisan lepaan bahan pelekat adalah penting bagi memastikan tampalan yang seragam dan kekuatan yang tinggi. Rajah 3.13 menunjukkan permukaan kepingan CFRP manakala Rajah 3.14 menunjukkan permukaan rasuk yang telah dilepa dengan bahan pelekat. Rola keluli (Rajah 3.15) digunakan untuk menekan kepingan CFRP ke permukaan rasuk untuk mengeluarkan lebihan bahan pelekat dan mengeluarkan udara yang mungkin terperangkap dalam

tampalan. Pemberat diletakkan di atas tampalan untuk mengekalkan tekanan kepada tampalan dan dibiarkan mengawet selama 7 hari sebelum ujian lenturan rasuk dilakukan.



Rajah 3.13: Kepingan CFRP telah dilepa bahan pelekat.



Rajah 3.14: Rasuk konkrit telah dilepa bahan pelekat.



Rajah 3.15: Rola keluli digunakan untuk menekan kepingan CFRP kepada rasuk konkrit.



Rajah 3.16: *Sikadur-30 Normal adhesive* terdiri daripada komponen A (epoksi) dan komponen B (*hardener*)

3.7 Ujian Kekuatan Lenturan Rasuk

Ujian dilakukan selepas 7 hari kepingan CFRP ditampal pada permukaan rasuk dan dilakukan dengan menggunakan struktur kerangka *Magnus*. Peralatan ujian adalah seperti berikut:

- i. *Hidraulic jack* - untuk mengenakan beban ke atas rasuk.
- ii. *Load cell* - untuk membaca beban yang dikenakan ke atas rasuk.
- iii. *Transducer* - untuk mengukur pesongan di tengah rentang rasuk.
- iv. *Data Logger* - untuk mengumpul bacaan *load cell* dan *transducer*.

Rasuk ditempatkan pada kedudukan di dalam kerangka *Magnus* mengikut spesifikasi rekabentuk dengan rentang berkesan rasuk ialah 2000 mm dan kedudukan *hidraulic jack* berada di tengah rentang rasuk. *Transducer* diletakkan di bawah rasuk pada kedudukan tengah rentang dan dihubungkan kepada *data logger*.

Selepas pemasangan peralatan ujian dipastikan sempurna, beban dikenakan menggunakan *hidraulic jack* pada kadar 1 kN. Setiap 1 kN beban yang dikenakan ke atas rasuk, bacaan pesongan tengah rentang diambil. Bagi rasuk pertama (tanpa keretakan), bacaan pesongan tengah rentang setiap 1 kN beban dikenakan diambil sehingga keretakan pertama, dan seterusnya bacaan pesongan tengah rentang bagi setiap 5 kN diambil sehingga rasuk gagal. Bagi rasuk kedua (rasuk pra-retak), bacaan pesongan tengah rentang bagi setiap 5 kN beban diambil sehingga rasuk gagal.

BAB IV

DATA & PERBINCANGAN

4.1 Pengenalan

Dua batang rasuk konkrit bertetulang disediakan berdasarkan rekabentuk dalam perkara 3.3.1. sebelum ini. Dua batang tetulang utama berdiameter 16 mm (T16) digunakan untuk setiap rasuk sebagai tetulang tegangan, manakala perangkai menggunakan perangkai berdiameter 8 mm dengan jarak 100 mm pusat ke pusat (R8 – 100).

Rasuk BS-2T16 sebagai rasuk tanpa pra retak ditampal kepingan CFRP manakala rasuk BPC-2T16 sebagai rasuk pra retak di mana rasuk BPC-2T16 dikenakan pra beban sehingga 2/3 daripada nilai beban muktamad sebelum kepingan CFRP ditampal. Setelah kedua rasuk ditampal kepingan CFRP, pembebanan dikenakan di bawah beban empat titik ke atas kedua-dua rasuk sehingga gagal. Untuk menunjukkan keputusan-keputusan yang diperolehi dengan jelas, graf-graf dan jadual-jadual digunakan. Rasuk BPC-2T16 dan rasuk BS-2T16 dibandingkan dari segi beban, pesongan, keretakan dan bentuk kegagalan.

Bagi menentukan keboleherjaan konkrit basah, ujian runtuhannya dilakukan terlebih dahulu sebaik sahaja konkrit selesai digaul dan bagi menentukan kekuatan mampatan sebenar konkrit, sembilan kiub berukuran 100 x 100 x 100 mm disediakan untuk ujian mampatan pada hari ke-7, ke-14 dan ke-28.

Kesemua keputusan yang telah diperolehi daripada ujian runtuh kun, ujian mampatan kiub dan ujian lenturan tengah rentang terhadap kedua-dua rasuk dianalisis.

4.2 Ujian Runtuhan Kun

Setelah selesai pengaulan konkrit G30 menggunakan mesin pengaul *drum mixer* (Rajah 4.1) dengan nisbah air kepada simen yang direkabentuk 0.47, ujian runtuh kun dilakukan. Kun keluli mempunyai ketinggian 300 mm dan bukaan atas serta bawahnya adalah masing-masing bergaris pusat 100 mm dan 200 mm digunakan. Bancuhan konkrit dimasukkan ke dalam kon dengan tiga lapisan dan setiap lapisan dipadatkan menggunakan rod besi sebanyak 25 kali untuk setiap lapisan.



Rajah 4.1: *Drum mixer* digunakan untuk mengaul bancuhan konkrit.

Ujian runtuh konkrit telah menunjukkan jenis runtuh benar dengan memberikan jarak runtuh sebanyak 15 mm menunjukkan kebolehkerjaan adalah seperti mana direkabentuk iaitu sebanyak 10 mm hingga 30 mm. Keputusan ini menunjukkan tahap kebolehkerjaan bancuhan konkrit adalah memuaskan dan *superplasticizer* tidak perlu ditambah ke dalam bancuhan untuk menambahkan kebolehkerjaannya. Daripada keputusan ini juga konkrit dijangka mempunyai kekuatan tinggi.

4.3 Ujian Mampatan Kiub

Kiub konkrit berdimensi 100 x 100 x 100 mm disediakan dan diuji pada hari ke-7, ke-14 dan ke-28 selepas bancuhan konkrit. Sebelum ujian lenturan terhadap konkrit dilakukan, ujian mampatan konkrit telah dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan kekuatan mampatan sebenar konkrit. Keputusan bagi ujian mampatan kiub yang dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap hari ke-7, ke-14 dan ke-28 ditunjukkan pada Jadual 4.1 berikut.

Jadual 4.1: Kekuatan mampatan konkrit.

Hari ke-	No. Kiub	Kekuatan Mampatan (N/mm ²)	Kekuatan Purata (N/mm ²)
7	1	35.7	32.2
	2	30.3	
	3	30.6	
14	4	44.2	42.63
	5	37.3	
	6	46.4	
28	7	48.6	49.07
	8	45.8	
	9	53.3	

Daripada keputusan yang diperolehi di atas, didapati kekuatan konkrit pada hari ke-7 telah melebihi kekuatan rekabentuk dengan kekuatan purata 32.2 N/mm²

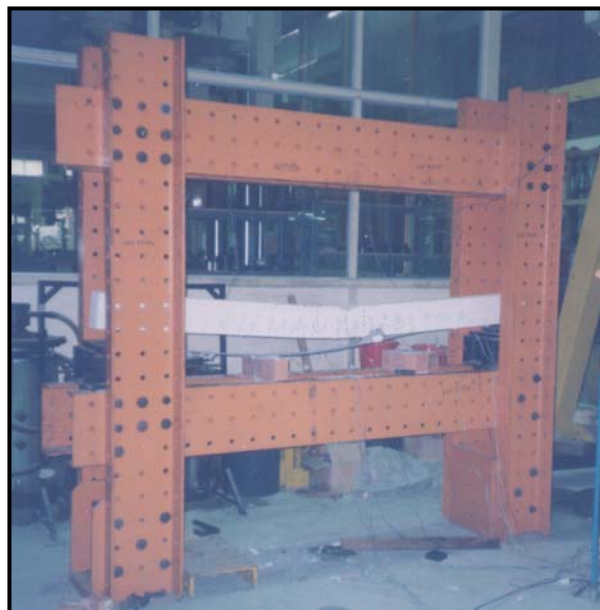
yang mana merupakan dua pertiga daripada kekuatan konkrit pada hari ke-28 seperti dikehendaki.

4.4 Ujian Lenturan Rasuk

4.4.1 Rasuk Pra Retak

Rasuk BS-2T16 merupakan rasuk kawalan yang digunakan dalam ujikaji ini untuk mendapatkan perbandingan di antara rasuk konkrit bertetulang tanpa pra retak dengan rasuk konkrit bertetulang pra retak (rasuk BPC-2T16) yang diperkuat dengan kepingan CFRP.

Dalam ujikaji ini, kerangka *Magnus* (Rajah 4.2) digunakan untuk menguji lenturan yang berlaku pada kedua-dua rasuk ini. Rasuk BPC-2T16 dikenakan pra beban bagi mendapatkan keretakan pada bahagian tegangan rasuk sebelum kepingan CFRP ditampal pada bahagian tegangan rasuk. Manakala rasuk BS-2T16 ditampal kepingan CFRP tanpa pra beban.

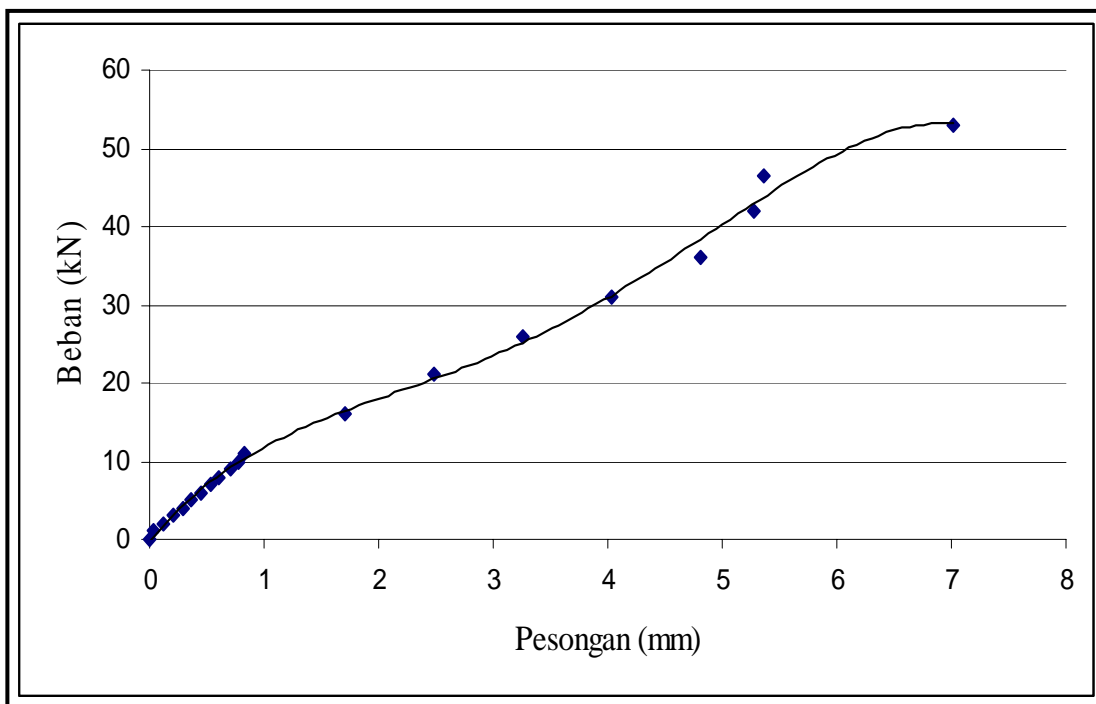


Rajah 4.2: Kerangka *Magnus* digunakan untuk menguji lenturan rasuk konkrit.

Pembebanan ke atas rasuk BPL-2T16 dikenakan ditengah rentang rasuk pada kadar 1 kN sehingga keretakan pertama berlaku. Keretakan pertama yang berlaku pada rasuk BPL-2T16 dikesan ketika beban rasuk mencapai 11 kN berlaku pada bahagian tengah rentang rasuk. Pesongan di tengah rentang rasuk semasa keretakan pertama dikesan ialah 0.82 mm. Penambahan beban seterusnya pada kadar 5 kN menyebabkan pertambahan keretakan yang pendek kelihatan pada bahagian tegangan rasuk. Pembebanan dikenakan sehingga nilai beban mencapai 53 kN iaitu dua per tiga daripada nilai beban muksamad (79 kN) rasuk yang telah direkabentuk. Pesongan di tengah rentang semasa nilai beban mencapai 53 kN ialah 7.02 mm. Pra beban dikenakan menggunakan tatacara yang sama dengan ujian kegagalan. Tahap beban ini dicadangkan adalah untuk menyerupai keadaan khidmat yang munasabah dan membenarkan pembentukan keretakan dalam bahagian tegangan.

Kesemua keretakan yang berlaku adalah kurang jelas dan perlu diperhatikan dengan teliti, dan kesemua keretakan yang berlaku pada rasuk ditandakan dengan jelas sebelum beban yang dikenakan dilepaskan sepenuhnya. Setelah beban dilepaskan sepenuhnya didapati pesongan yang berlaku di tengah ialah 0.04 mm, ini menunjukkan bahawa tetulang tegangan rasuk belum mencapai tahap alah maksimum.

Rajah 4.3 menunjukkan hubungan beban (kN) dengan pesongan (mm) di tengah rentang bagi rasuk BPL-2T16 apabila dikenakan beban sehingga mencapai 53 kN di tengah rentang.



Rajah 4.3: Graf beban melawan pesongan bagi rasuk BPL-2T16

4.4.2 Kekuatan Muktamad Rasuk

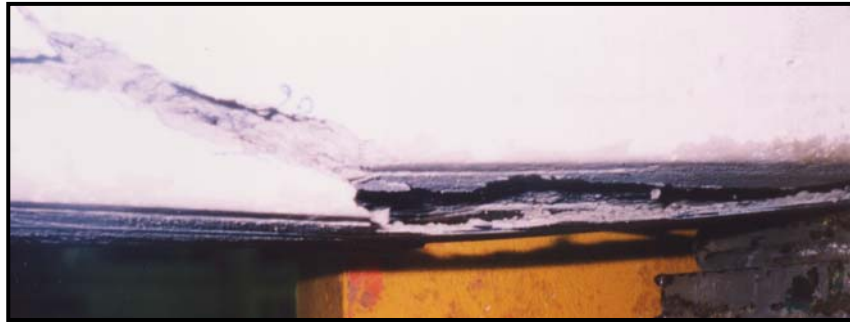
Rasuk BS-2T16 adalah rasuk yang diperkuat dengan kepingan CFRP tanpa pra retak. Sebagaimana rasuk BPC-2T16, rasuk BS-2T16 dikenakan beban menggunakan kerangka *Magnus* untuk menguji lenturan yang berlaku ke atas rasuk. Dalam ujikaji ini, beban dikenakan ke atas rasuk pada kadar pertambahan 1 kN sehingga keretakan pertama ditemui. Selepas keretakan ditemui, pertambahan beban pada kadar 5 kN dikenakan sehingga rasuk gagal.

Keretakan pertama rasuk BS-2T16 ditemui apabila beban yang dikenakan mencapai 20 kN. Pesongan di tengah rentang rasuk semasa keretakan pertama berlaku ialah 1.47 mm. Pertambahan beban pada kadar 5 kN seterusnya menyebabkan keretakan-keretakan baru yang pendek berlaku. Kesemua keretakan awal berlaku di bahagian tegangan rasuk dan pertambahan beban seterusnya menghasilkan retak pepenjuru akibat kegagalan tegasan ikatan antara konkrit dan tetulang. Keretakan yang berlaku adalah kurang jelas dan perlu pemerhatian yang teliti untuk mengesan keretakan yang berlaku. Tiada keretakan berlaku pada rasuk di

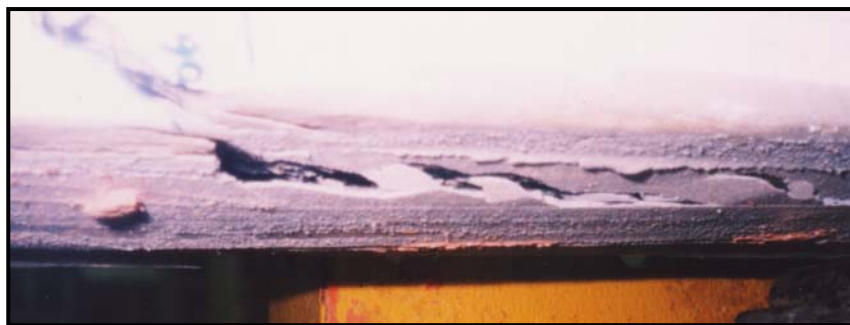
kedudukan kedua-dua penyokong. Selepas beban mencapai 102 kN dikenakan, didapati pertambahan beban menjadi tidak seragam dan semakin sukar.

Rasuk BS-2T16 gagal dalam mekanisme ricih akibat retak pepenjuru yang lebih tertumpu kepada titik pembebanan di tepi kawasan momen malar ketika beban mencapai 102 kN dan pesongan di tengah rentang rasuk memberikan bacaan 15.59 mm. Kepingan CFRP tertanggal serentak ketika rasuk gagal di bahagian zon daya ricih yang paling kritikal. Tegasan yang besar telah menyebabkan ricih pada penutup konkrit sehingga mendedahkan tetulang tegangan rasuk di hujung kepingan CFRP. Bentuk penanggalan kepingan CFRP juga menunjukkan bahawa ikatan epoksi adhesif kepada konkrit adalah baik kerana lapisan konkrit turut tericih tanpa kegagalan epoksi. Rajah 4.4 menunjukkan bentuk kegagalan tampalan kepingan CFRP.

Rasuk BPC-2T16 adalah rasuk pra retak yang diperkuat dengan kepingan CFRP. Beban dikenakan ke atas rasuk pada kadar 5 kN sehingga rasuk gagal. Pertambahan beban telah memperlihatkan keretakan yang sedia ada kelihatan lebih jelas dan keretakan baru kelihatan apabila beban yang dikenakan mencapai 70.5 kN dan pesongan di tengah rentang rasuk memberikan bacaan 7.67 mm. Kesemua keretakan awal berlaku di bahagian tegangan rasuk dan pertambahan beban seterusnya menghasilkan retak pepenjuru juga akibat kegagalan tegasan ikatan antara konkrit dan tetulang di sekitar tengah rentang rasuk. Tiada keretakan berlaku pada rasuk di kedudukan kedua-dua penyokong. Selepas beban mencapai 98 kN dikenakan, didapati pertambahan beban menjadi tidak seragam dan semakin sukar. Rasuk BPC-2T16 gagal akibat retak pepenjuru yang lebih tertumpu kepada titik pembebanan di tepi kawasan momen malar ketika beban mencapai 98 kN dan pesongan ditengah rentang rasuk memberikan bacaan 13.19 mm manakala kepingan CFRP tertanggal di hujung kepingan CFRP serentak ketika rasuk gagal. Ini menjelaskan bahawa kegagalan rasuk menanggung beban telah menyebabkan kepingan tertanggal daripada tampalan.



Rasuk BPC-2T16



Rasuk BS-2T16

Rajah 4.4: Bentuk kegagalan tampalan kepingan CFRP.

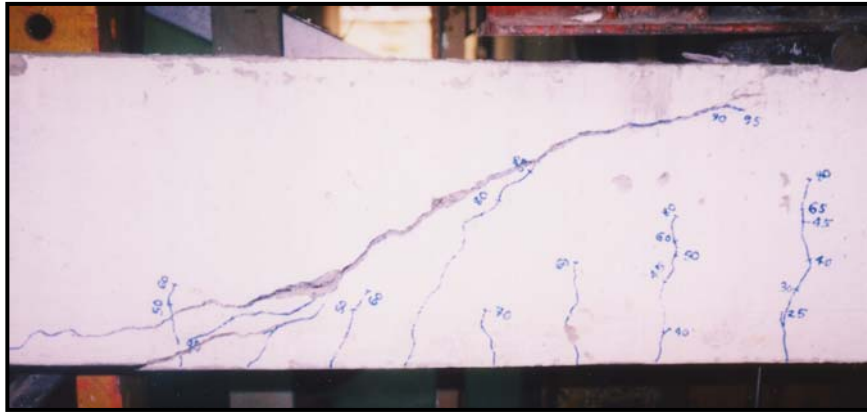
Jadual 4.2 menunjukkan perbandingan beban muktamad yang mampu ditanggung oleh rasuk BPC-2T16 dan BS-2T16. Bentuk kegagalan yang berlaku pada setiap rasuk dijelaskan dalam Jadual 4.3, manakala Rajah 4.5 dan Rajah 4.6 menunjukkan bentuk kegagalan yang berlaku pada setiap rasuk. Perbandingan pesongan rasuk BPC-2T16 dan rasuk BS-2T16 di bawah pembebanan ditunjukkan di dalam Rajah 4.7.

Jadual 4.2: Kekuatan muktamad rasuk

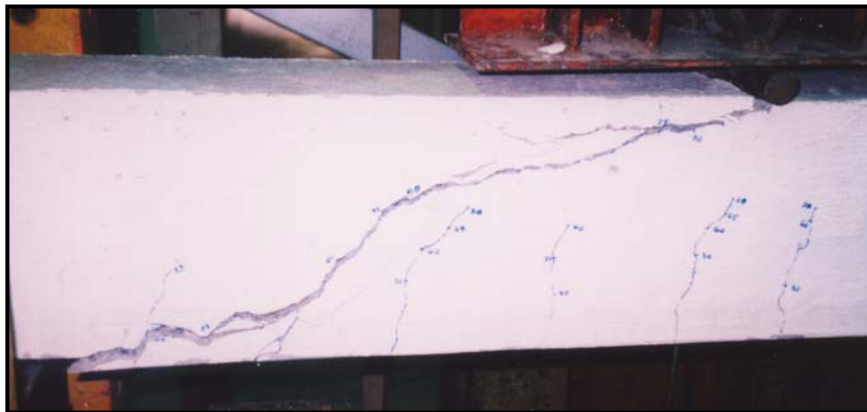
Jenis Rasuk	Beban Muktamad	
	kN	Peratus Perbezaan, %
BPC-2T16	98	-
BS-2T16	102	3.92

Jadual 4.3: Bentuk kegagalan rasuk

Rasuk	Bentuk Kegagalan
BPC-2T16	Kegagalan ricih menghasilkan retak pepenjuru bermula dari titik pembebanan dan kepingan CFRP tertanggal.
BS-2T16	Kegagalan tegasan ikatan antara konkrit dan tetulang menghasilkan retak pepenjuru tertumpu pada titik pembebanan dan kepingan CFRP tertanggal.



Rajah 4.5: Bentuk kegagalan rasuk BPC-2T16

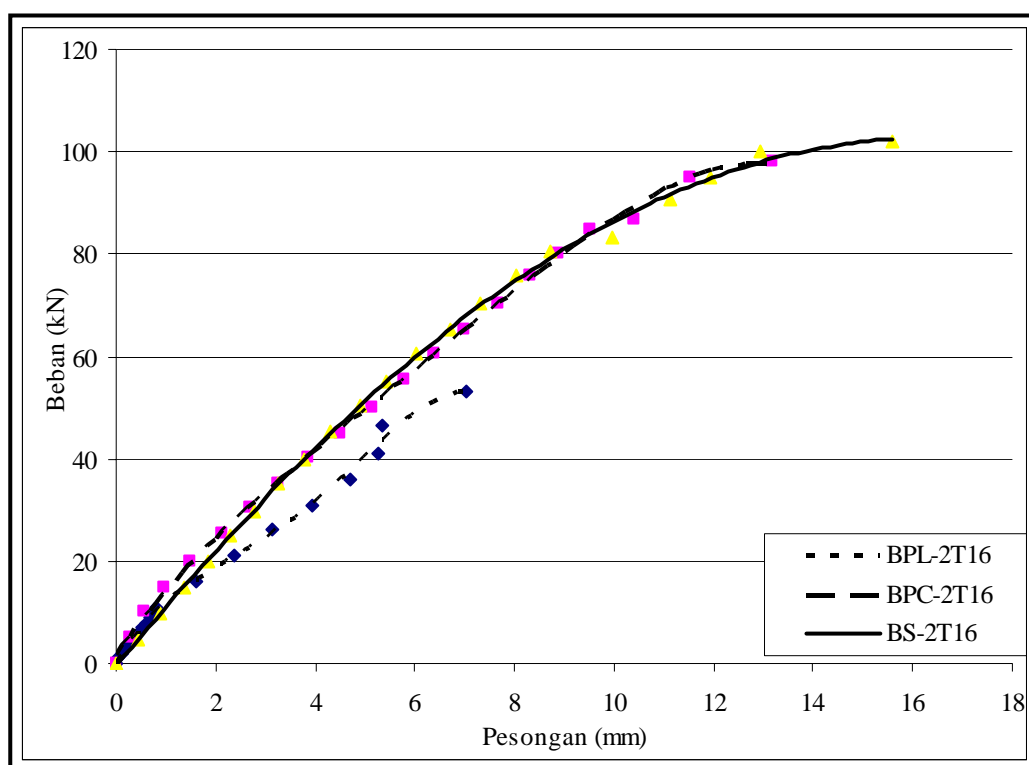


Rajah 4.6: Bentuk kegagalan rasuk BS-2T16

4.4.3 Pesongan Rasuk

Pesongan di tengah rentang rasuk BPC-2T16 ketika keretakan pertama berlaku semasa pra-beban ialah 0.82 mm manakala pesongan di tengah rentang rasuk BS-2T16 ketika keretakan pertama berlaku ialah 1.47 mm. Ini menunjukkan bahawa nilai pesongan yang rendah berlaku pada rasuk BS-2T16 yang diperkuat dengan tampalan kepingan CFRP. Rajah 4.7 menunjukkan graf beban melawan pesongan yang berlaku di tengah tentang rasuk BPL-2T16, BPC-2T16 dan BS-2T16.

Daripada graf tersebut, boleh diperhatikan bahawa pesongan yang berlaku pada rasuk BS-2T16 adalah lebih kecil jika dibandingkan dengan rasuk BPL-2T16. Namun nilai pesongan rasuk BPC-2T16 selepas tampalan CFRP menunjukkan nilai yang rendah di awal pembebanan berbanding rasuk BS-2T16 tetapi rasuk BPC-2T16 selepas tampalan kepingan CFRP menunjukkan nilai pesongan yang rendah ketika gagal. Walaupun beban sebanyak 55.1 kN dikenakan ke atas rasuk BS-2T16, namun pesongan di tengah rentang tidak melebihi 5 mm. Berbanding dengan rasuk BPL-2T16, beban sebanyak 42.1 kN telah menyebabkan pesongan yang melebihi 5.28 mm berlaku, manakala setelah tampalan kepingan CFRP, beban sebanyak 50.1 kN telah menyebabkan pesongan melebihi 5.15 mm.



Rajah 4.7: Perbandingan pesongan rasuk BPL-2T16, BPC-2T16 dan BS-2T16 di bawah pembebanan dikenakan.

Keputusan yang diperolehi dari rasuk BPC-2T16, menunjukkan bahawa pesongan lebih tinggi berlaku ke atas rasuk sebelum ditampal kepingan CFRP berbanding dengan setelah tampalan dibuat. Ini jelas menunjukkan bahawa rasuk

dengan tampalan kepingan CFRP mampu mengurangkan pesongan dan menanggung beban yang lebih tinggi. Pesongan lebih tinggi pada rasuk BPC-2T16 selepas tampalan berbanding dengan rasuk BS-2T16 juga menunjukkan bahawa tampalan kepingan CFRP pada rasuk tanpa pra retak mampu memberi kesan kekukuhan yang baik kepada rasuk konkrit bertetulang.

Secara perbandingan dengan teori, pesongan rasuk telah dikira dengan berpandukan kepada *BS 8110: Part 2, section 3.7*. Keputusan menunjukkan bahawa pesongan yang dikira secara teori adalah 7.5 % kurang daripada pesongan rasuk BPC-2T16 dan 21.7 % kurang daripada pesongan rasuk BS-2T16.

4.4.4 Keretakan

Setiap pertambahan beban dikenakan, pemerhatian dengan teliti dilakukan ke atas rasuk untuk mengesan garis-garis keretakan yang terhasil. Beban dikenakan semasa keretakan pertama terjadi, bilangan keretakan terjadi dan jarak antara keretakan direkodkan seperti ditunjukkan dalam Jadual 4.4. Keretakan pertama dialami oleh rasuk BPC-2T16 pada nilai beban 11 kN dikenakan semasa pra beban dan rasuk BS-2T16 pula mengalami keretakan pertama pada nilai beban 20 kN dikenakan.

Jadual 4.4: Keretakan rasuk

Jenis Rasuk	Beban pada keretakan pertama (kN)	Bilangan keretakan	Purata jarak antara keretakan (mm)	Purata tinggi keretakan (mm)
BPL-2T16	11	8	74	33
BPC-2T16	-	22	83	20
BS-2T16	20	19	102	13

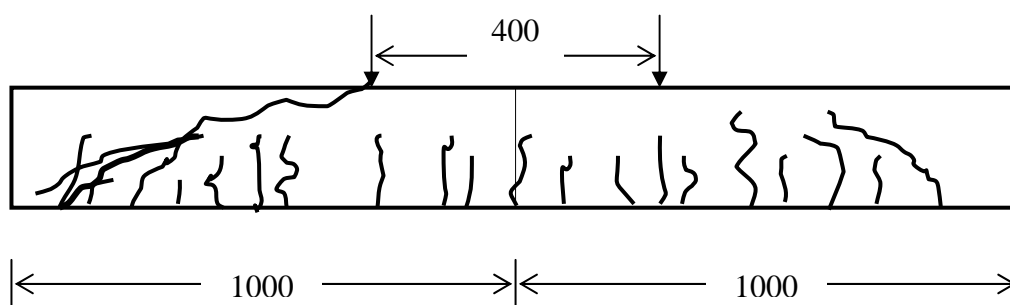
Rasuk mula melentur dan menghasilkan keretakan pada permukaan tengangan di tengah rentang rasuk apabila pertambahan beban dikenakan ke atas

kedua-dua rasuk pada peringkat awal pembebanan akibat lenturan. Daya riceh yang mengiringi perubahan momen lentur menghasilkan tegangan pepenjuru dalam konkrit. Akibat tegangan pepenjuru ini, retak akibat riceh mula kelihatan apabila beban semakin bertambah seterusnya menghasilkan retak pepenjuru yang lebih tertumpu pada titik pembebanan ke atas rasuk.

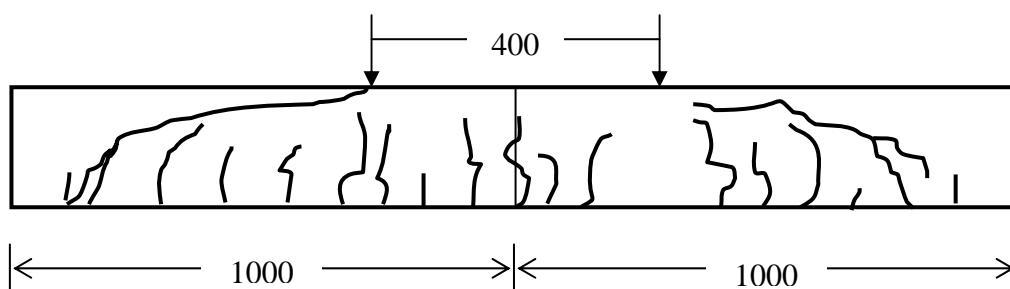
Bilangan, jarak dan purata tinggi keretakan yang diperolehi dari kedua-dua rasuk adalah hampir sama. Lakaran corak keretakan untuk kedua-dua rasuk ditunjukkan dalam Rajah 4.8. Manakala Rajah 4.9 dan Rajah 4.10 adalah gambaran yang menunjukkan keretakan-keretakan yang telah berlaku pada setiap rasuk. Dari gambaran tersebut, menunjukkan bahawa modulus elastik yang rendah telah menyebabkan ketinggian keretakan bertambah.

Keretakan kedua-dua rasuk bertambah sehingga berhampiran dengan bahagian atas rasuk dengan pertambahan beban. Bagi rasuk BPC-2T16, keretakan di tengah rentang berhenti apabila beban mencapai 70 kN manakala keretakan pada rentang riceh kiri dan kanan terus meningkat. Ini dapat disimpulkan bahawa penampalan kepingan CFRP telah dapat meningkatkan kekukuhan rasuk pada bahagian tegangan.

Daripada pemerhatian terhadap bentuk keretakan yang berlaku ke atas kedua-dua rasuk tersebut, penguatan dengan kepingan CFRP telah dapat meningkatkan nilai beban sehingga keretakan pertama berlaku. Rasuk bertindak lebih kukuh dan menanggung beban lebih tinggi dengan keretakan seterusnya berlaku pada bahagian riceh menyebabkan rasuk gagal. Keadaan ini berkaitan dengan taburan tegasan agihan pada kepingan CFRP dalam bahagian tegasan tempatan pada kepingan.

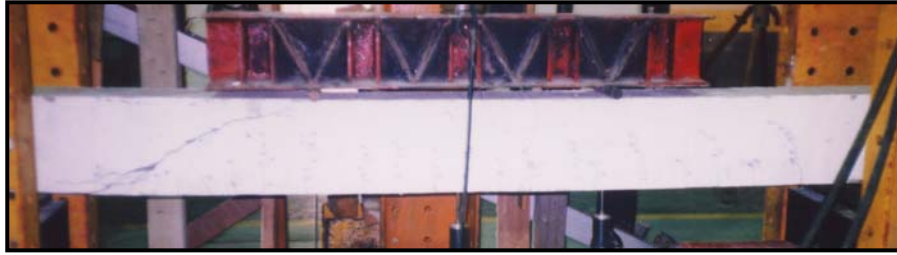


Rasuk BPC-2T16



Rasuk BS-2T16

Rajah 4.8: Bentuk keretakan untuk rasuk BPC-2T16 dan BS-2T16



Rajah 4.9: Keretakan pada rasuk BPC-2T16



Rajah 4.10: Keretakan pada rasuk BS-2T16

BAB V

KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1. Kesimpulan

Daripada kajian terhadap rasuk konkrit bertetulang tanpa pra retak dan dengan pra retak untuk menentukan kesan penggunaan kepingan CFRP bagi memperkuat rasuk yang telah mengalami kerosakan dan menjelaskan kesan kaedah penampalan yang telah digunakan, keputusan-keputusan yang diperolehi telah menghasilkan data yang dapat dirumuskan seperti berikut:

- I. Rasuk yang diperkuat dengan kepingan CFRP mampu menanggung beban muktamad lebih besar. Ini dapat diperhatikan daripada perbandingan di antara rasuk BPL-2T16 dengan rasuk BS-2T16 semasa ujian kegagalan rasuk. Rasuk BPL-2T16 telah mengalami keretakan pertama apabila beban mencapai 11 kN berbanding rasuk BS-2T16 pada beban mencapai 20 kN.
- II. Rasuk BPC-2T16 dan BS-2T16 tidak menunjukkan perbezaan nilai beban muktamad yang besar, tetapi kesan penampalan kepingan CFRP sebelum pembebanan menunjukkan bahawa beban muktamad yang dicapai lebih tinggi (102 kN) berbanding dengan BPC-2T16 (98 kN).
- III. Penggunaan kepingan CFRP bagi memperkuat rasuk konkrit bertetulang yang telah mengalami kerosakan boleh meningkatkan kekuatan rasuk menanggung beban melalui pesongan, keterikan keluli dan penambahan beban sebelum gagal.

- IV. Kaedah penampalan turut mempengaruhi kekuatan rasuk untuk menanggung beban. Ini ditunjukkan melalui bentuk kegagalan rasuk di mana tampalan kepingan CFRP hanya tertanggal pada hujung kepingan akibat keretakan pepenjuru kedua-dua rasuk dan tampalan tidak tertanggal pada tengah rentang rasuk. Ini bermakna kaedah dan ketebalan tampalan yang telah digunakan adalah baik.
- V. Teknologi penguatan terdiri daripada penampalan kepingan CFRP secara luaran adalah mudah untuk dilaksanakan dan keputusan dalam pembaikan penting dalam meningkatkan keupayaan beban muktamad dan untuk lanjutan yang lebih kecil dalam pengukuhan lenturan.
- VI. Pertimbangan terhadap permukaan konkrit dalam keadaan baik, dan keberkesanan penyediaan permukaan menggunakan kaedah mengasarkan sehingga permukaan batu baur kasar memberikan kesan sokongan kepada pengukuhan ikatan antara kepingan dan konkrit.
- VII. Dengan rekabentuk yang baik, rasuk yang diperbaiki secara tampalan kepingan CFRP boleh meningkatkan pertimbangan kecacatan kemampuan sebelum gagal. Rekabentuk yang baik perlu melibatkan had hubungan paksi pengukuhan pada FRP dengan tumpuan kepada tetulang dalaman untuk melambatkan kegagalan jenis rapuh.

5.2. Cadangan

Bagi kajian-kajian selanjutnya, dicadangkan supaya beberapa perubahan dilakukan untuk mendapatkan keberkesanan penggunaan kepingan CFRP dalam aspek pembaikan terutamanya rasuk konkrit bertetulang kurang (under reinforced) seperti berikut:

- I. Kajian kaedah penampalan yang mengambilkira perlaksanaan semasa di tapak untuk membaiki kerosakan rasuk termasuk kelengkapan yang

bersesuaian untuk menghalang dan mengelakkan kegagalan contohnya ketebalan epoksi dan kepekaan kepada kesilapan tumpuan sepanjang anggota keretakan terhasil pada permukaan tegangan.

- II. Kajian terhadap rasuk konkrit yang menggunakan nisbah keluli yang rendah tetapi kekuatan konkrit yang tinggi.
- III. Penumpuan kepada pembaikan atau pemulihan pada anggota rasuk akibat beban khidmat yang berlebihan atau serangan persekitaran.
- IV. Menilai potensi sebenar menggunakan kepingan CFRP dalam pembaikan dan penguatan anggota rasuk konkrit bertetulang dalam keadaan yang sama kepada keadaan persekitaran di tapak. Ia termasuk kesan kerosakan oleh pembebanan dan pengilangan seperti pengaruh pengukuhan pembebanan semasa pembaikan atau penguatan.
- V. Mengenalpasti ketahanan teknik pembaikan dan penguatan, terutamanya ketahanan kepingan CFRP di bawah pembekuan dan tahap alah, kecepatan pemejalan, dan kelesuan.
- VI. Mengkaji keperluan tampalan kepingan CFRP untuk menghalang kegagalan rasuk konkrit bertetulang sederhana secara retakan pepenjuru dalam mekanisme riceh.

RUJUKAN

- [1] British Standard, (2001), "Structural Use of Steelwork in Building", *Section 1*, pp. 2

- [2] Balendran, R. V., Rana, T. M. And Nadeem, A. (2001). "Strengthening of Concrete Structures with FRP Sheet and Plates." *Structure Survey*. Vol. 19, No. 4., pp. 185-192.

- [3] F. Taheri, K. Shahin, I. Widiarsa, (2002), "Composite Structures: On the Parameters Influencing the Performance of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Plates." Department of Civil Engineering, Dalhousie University, 1360 Barrington Street, Halifax, NS, Canada., pp. 217.Francois

- [4] Buyle-Bodin, Emmanuelle David, Eric Ragneau, (2002), "Engineering Structures: Finite Element Modelling of Flexural Behavior of Externally Bonded CFRP Reinforced Concrete Structures." Velleneuve d'Ascq, France & Rennes Cedex, France., pp. 1423.

- [5] Piawaian Malaysia, MS 522 : Part 1 : 1977

- [6] Steiner, W., (1998), "Strengthening of Structures with CFRP Strips", Seminar on Design of Strengthening Structures with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Laminates, Januari 1998

- [7] Starnes, M.D.M. "Strenght and Ductility of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP and Steel". National Institut of Standards and Technology, USA

- [8] Deuring M. dan Steiner W., (1998), “Efficient Strengthening by Using the Sika CarboDur – System”, Seminar on Design of Strengthening Structures with Carbon Fiber Reinforced Polimer (CFRP) Laminates, Januari, 1998
- [9] Marco Arduini dan Antonio Nanni, (1997), “Behavior of Precracked RC Beams Strengthened with Carbon FRP Sheets”, *Journal of Composites for Construction*, ASCE Online, May 1997, 65
- [10] Nanni A., (1999). “Composites: Coming On Strong”. *Concrete Construction*, vol. 44, p. 120.
- [11] Design of Normal Concrete Mixes, Department of Environment, Building Research Establishment, TRRL, HMSO, London, 1978.